

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-085418

(43)Date of publication of application : 30.03.2001

(51)Int.Cl.

H01L 21/31
C23C 16/44
H01L 21/3065

(21)Application number : 2000-201117

(71)Applicant : APPLIED MATERIALS INC

(22)Date of filing : 03.07.2000

(72)Inventor : RAJAGOPALAN RAVI
LIU PATRICIA M
NARWANKAN PRAVIN K
TRAN HUYEN T
KRISHNARAJ PADMANABHAN
ABLAO ALAN
CASPER TIM
SAHIN TURGIT
KAO CHIEN-TEH

(30)Priority

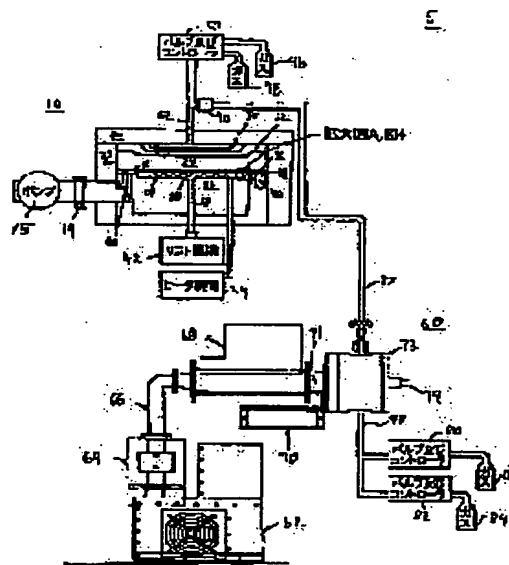
Priority number : 99 347236 Priority date : 02.07.1999 Priority country : US

(54) REMOTE PLASMA CLEANING METHOD FOR PROCESSING CHAMBER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To reduce gas consumption by removing a volatile composition comprising a deposit, formed in a second region of a processing chamber from the processing chamber.

SOLUTION: A processing chamber 10 is divided into first and second regions 24 and 26. The communication of a fluid between the first and second regions 24 and 26 is increased so that a deposit in the second region 26 reacts with reactive species, forming a volatile composition from the deposit formed in the second region 26. The volatile composition, formed from the deposit in the second region 26 of the process chamber 10, is removed from the processing chamber 10. Since the gas consumption is reduced, a gas supply cost as well as gas disposition cost are reduced.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than
the examiner's decision of rejection or
application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2001-85418
(P2001-85418A)

(43) 公開日 平成13年3月30日 (2001.3.30)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード [*] (参考)
H 0 1 L 21/31		H 0 1 L 21/31	C
C 2 3 C 16/44		C 2 3 C 16/44	J
H 0 1 L 21/3065		H 0 1 L 21/302	B

審査請求 未請求 請求項の数21 O L 外国語出願 (全 72 頁)

(21) 出願番号 特願2000-201117(P2000-201117)

(22) 出願日 平成12年7月3日 (2000.7.3)

(31) 優先権主張番号 09/347236

(32) 優先日 平成11年7月2日 (1999.7.2)

(33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 390040660

アプライド マテリアルズ インコーポレ
イテッド
APPLIED MATERIALS, I
NCORPORATED
アメリカ合衆国 カリフォルニア州
95054 サンタ クララ パウアーズ ア
ベニュー 3050

(74) 代理人 100088155

弁理士 長谷川 芳樹 (外1名)

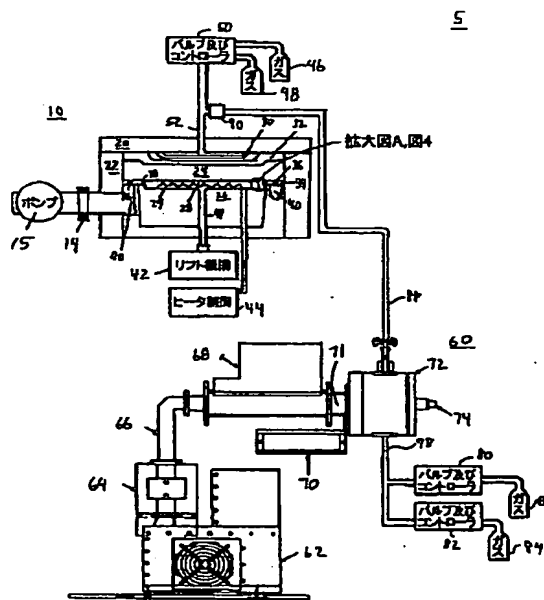
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 処理チャンバのための遠隔式プラズマクリーニング方法

(57) 【要約】

【課題】 マイクロ波エネルギーを利用して、単独で又は不活性ガスと組み合わせで用いられる反応種を遠隔で発生させ処理チャンバから堆積物を取り除く処理チャンバクリーニング方法。

【解決手段】 反応種により、第1の圧力で第1の処理領域から堆積物を取り除くことができ、また、第2の圧力で第2の処理領域から堆積物を取り除くことができる。また、2つの異なる圧力で単一の処理領域の中に遠隔で発生された反応種を利用するクリーニングプロセスが説明される。更に、反応性のガスと不活性ガスの比を変えることにより、クリーニングプロセスの均一性を改良し、クリーニング速度を上げ、反応種の再結合を減らし、処理チャンバに提供される反応種の滞在時間を延ばすことができる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 処理チャンバの内面上に形成された堆積物を処理チャンバからクリーニングするための方法であって、前記処理チャンバ内面は、第1の領域と第2の領域を有し、前記第2の領域は前記第1の領域とは別であり、前記方法は、(a) 反応種を形成するため、不活性ガスとクリーニングガスを備えるガス混合物を前記処理チャンバの外側で解離するステップと、(b) 前記処理チャンバに前記反応種を提供するステップと、(c) 前記処理チャンバ第1の領域内で前記反応種を前記堆積物と反応させるステップと、(d) 前記処理チャンバ第1の領域内に形成された前記堆積物から揮発性の化合物を生成するステップと、(e) 前記処理チャンバ第1の領域内に形成された堆積物から形成された前記揮発性の化合物を、前記処理チャンバから取り除くステップと、

(f) 前記処理チャンバ第1の領域と前記処理チャンバ第2の領域の間の流体連絡を増加させるステップと、

(g) 前記処理チャンバ第2の領域内で、前記反応種を前記堆積物と反応させるステップと、(h) 前記処理チャンバ第2の領域内に形成された前記堆積物から揮発性の化合物を形成するステップと、(i) 前記処理チャンバ第2の領域内に形成された堆積物から形成された前記揮発性の化合物を、前記処理チャンバから取り除くステップとを有する方法。

【請求項2】 前記不活性ガスと前記クリーニングガスの比が約2:1である請求項1に記載の方法。

【請求項3】 反応種を形成するために前記処理チャンバの外側でガス混合物を解離する前記ステップが、マイクロ波でエネルギーが与えられる遠隔プラズマ装置で行われる請求項1に記載の方法。

【請求項4】 前記反応種を、前記処理チャンバ第1の領域の中に形成された堆積物と反応させる前記ステップが第1の圧力で実行され、前記反応種を、前記処理チャンバ第2の領域の中に形成された堆積物と反応させる前記ステップが、前記第1の圧力とは異なる第2の圧力で実行される請求項1に記載の方法。

【請求項5】 前記第1のガスが不活性ガスであり、前記第2のガスがハロゲン化ガスである請求項2に記載の方法。

【請求項6】 前記ハロゲン化されたガスが NF_3 である請求項5に記載の方法。

【請求項7】 前記マイクロ波電力が、前記ガス混合物の前記クリーニングガスに99%以上の解離を引き起こす請求項3に記載の方法。

【請求項8】 前記第1の圧力が、前記第2の圧力より大きい請求項4に記載の方法。

【請求項9】 前記第1の圧力が、前記第2の圧力の約2倍である請求項4に記載の方法。

【請求項10】 前記第1の圧力が約2トルである請求項4に記載の方法。

【請求項11】 処理チャンバ内に配置された基板上に実行された堆積操作の結果として処理チャンバの中に形成された堆積物を、取り除く方法であって、(a) 前記処理チャンバとは別個である遠隔チャンバ内でクリーニングガスを励起し、前記クリーニングガスから反応種を形成するステップと、(b) 前記反応種と混合させる不活性ガスを提供して、反応種を有する混合物を形成するステップと、(c) 前記処理チャンバを第1の圧力に維持しつつ、前記処理チャンバに前記ガス混合物を提供するステップと、(d) 前記処理チャンバを前記第1の圧力に維持しつつ、前記反応種を前記堆積物と反応させて、揮発性の化合物を形成し、その後、前記第1の圧力で形成された前記揮発性の化合物を前記処理チャンバから取り除く反応のステップと、(e) 前記第1の圧力から異なる第2の圧力に前記処理チャンバを維持しつつ、反応種を有する前記ガス混合物を前記処理チャンバに与えるステップと、(f) 前記処理チャンバを前記第2の圧力に維持しつつ、前記反応種を前記堆積物と反応させて揮発性の化合物を形成し、その後、前記第2の圧力で形成される前記揮発性の化合物を前記処理チャンバから取り除く反応のステップと、(g) 前記チャンバ内に基板を配置せずに、前記処理チャンバ内で処理操作を行い、前記処理チャンバの内面の上で膜を形成するステップとを有する方法。

【請求項12】 前記第2の圧力が、前記第1の圧力より低い請求項11に記載の方法。

【請求項13】 前記第2の圧力が、前記第1の圧力の約半分である請求項11に記載の方法。

【請求項14】 前記反応種と混合させる不活性ガスを提供してガス混合物を形成する前記ステップが、反応種が更に、反応種形成のために用いられるクリーニングガスの流量の2倍の不活性ガス流量を備えることを更に有する請求項11に記載の方法。

【請求項15】 前記処理チャンバの第1の処理領域に対して、前記第1の圧力を維持しつつ、反応種を備える前記ガス混合物を提供し、前記処理チャンバ内に前記第2の圧力を維持しつつ、前記第1の処理領域から異なる第2の処理領域に対し、反応種を備える前記ガス混合物を提供するステップを更に有する請求項11に記載の方法。

【請求項16】 基板の上にタンタルを備える膜を堆積するために行われた基板処理操作の結果、処理チャンバの内面上に形成されたタンタルを備える堆積物を取り除く方法であって、前記処理チャンバは第1の処理領域と、前記第1の処理領域とは異なる第2の処理領域とを備え、(a) 前記処理チャンバの外の遠隔チャンバ内でプラズマを点火するステップと、(b) 前記クリーニングガスから反応種を発生させるために、前記プラズマで前記クリーニングガスを励起するステップと、(c) 前記反応種に混合させる不活性ガスを提供して、不活性ガスと反応種を備えるガス混合物を形成するステップと、(d) 前

記処理チャンバ内の第1の処理領域に、前記ガス混合物を提供するステップと、(e)前記処理チャンバを第1の圧力に維持しつつ、前記第1の処理領域内で、前記反応種を、タンタルを備える前記膜と反応させて、揮発性の化合物を形成するステップと、(f)前記第1の処理領域内に形成された前記揮発性の化合物を、前記処理チャンバから取り除くステップと、(g)前記第1の処理領域と前記第2の処理領域の間の流体連絡を増加させるステップと、(h)前記処理チャンバ内に第2の処理領域に前記ガス混合物を提供すること、(i)前記処理チャンバを第2の圧力に維持しつつ、前記第2の処理領域内で、前記反応種を、タンタルを備える前記膜と反応させて揮発性の化合物を形成するステップと、(j)前記第2の処理領域内に形成された前記揮発性の化合物を、前記処理チャンバから取り除くステップとを有する方法。

【請求項17】 前記チャンバ内に基板の存在なしに、前記処理チャンバ内で処理操作を行い、前記処理チャンバの内面上にタンタルを備える膜を形成するステップを更に有し、前記処理操作は、前記第1の処理領域と第2の処理領域から形成された前記揮発性の化合物を前記処理チャンバから取り除いた後に行われる請求項16に記載の方法。

【請求項18】 前記クリーニングガスがハロゲンである請求項16に記載の方法。

【請求項19】 前記クリーニングガスが弗素を備える請求項16に記載の方法。

【請求項20】 前記クリーニングガスがNF₃である請求項16に記載の方法。

【請求項21】 前記不活性ガスが、Arと、Xeと、Neと、Heと、N₂とから成る群から選択される請求項16に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は一般に、処理リアクタ内に蓄積された処理副生成物及び不必要な堆積物を取り去ることに適した装置及び方法に関する。より詳しくは、本発明は、タンタルを有する膜、例えば五酸化タンタル(Ta₂O₅)等の堆積の後、ウエハ処理装置の内部部品をクリーニングする方法に関する。さらに、ここに説明される方法は、他のプロセスによって形成された堆積物を取り去るに適しており、半導体デバイスやフラットパネルディスプレイの製造に有用である。

【0002】

【従来の技術】小さいサイズのデバイス上に容量の大きな集積回路(IC)を形成する要求には、今日の64メガビットのDRAMを256メガビット、1ギガビットあるいはそれ以上の大きさの記憶装置へと変えることに対する大きな関心が含まれる。同じ又は小さな基板フットプリントデバイスに対してキャパシティをより大きくするこの必要性は、以前に用いられた従来の誘電体膜をスタック型の

キャパシタの形成、例えば二酸化珪素(SiO₂)を、より高い誘電率を有する誘電体膜に代替する必要性を生じさせる。高い誘電率材料(例えばTa₂O₅)を有するキャパシタは通常、標準的なSiO₂-Si₃N₄-SiO₂スタックキャパシタに比べてかなり大きいキャパシタンス密度を有するので、IC製造における選択材料とすることができる。誘電率膜が高ければ、キャパシタ領域をより小さくすることが可能となり、それは、トランジスタのより近接したスペーシングを可能にし、トランジスタ密度を増加させる。スタックキャパシタ製造において大きな興味の対象である材料の1つは、SiO₂の6倍以上の比誘電率を有する五酸化タンタルである。この材料の用途が増加し広がることを合わせれば、堆積サイクルを繰り返した後、処理チャンバ内に蓄積する不必要な堆積物を取り去る改良されたインシチュウの方法の必要性になる。

【0003】利用可能な洗浄方法の1つに、処理チャンバに与えられる反応種を生産するための遠隔式(リモート)プラズマジェネレータの利用がある。1995年9月12日発行のHitachiの米国特許第5,449,411号は、SiO₂の堆積の前に、真空チャンバをクリーニングするためのプロセスを説明する。C₂F₆、CF₄、CHF₃、CH₆、F₂、HF、Cl₂またはHCl等の処理ガスのマイクロ波プラズマが記載される。この特許では、チャンバ内の電極にRF電界を印加することでクリーニングプロセスを改良することが可能であることが、更に説明される。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】Applied Komatsu Technologyに1998年8月4日発行された米国特許5,778,788では、およそ3,000~12,000ワットの強力なマイクロ波ソース又はおよそ12,000ワット/リットル~48,000ワット/リットルのリモートチャンバ内の出力密度を用いて先駆体ガスを励起することによる、電子デバイスの製造に用いられる堆積チャンバをクリーニングする方法を説明する。

【0005】この特許では、アルゴン、窒素、ヘリウム、水素または酸素等の少数のキャリアガスを用いて、反応種をチャンバへ輸送し、クリーニングプロセスを援助し、あるいは堆積チャンバ内のプラズマの発生及び安定を援助することができることを更に説明する。この特許はまた、反応種を更に励起するために用いられるチャンバベースの励振源をチャンバに具備して用いることが説明される。

【0006】半導体工業に直面している別の問題は、処理ガスを得る費用が増大していることであり、これが、処理ガスにより生成される排気副生成物の廃棄費用が増大していることにも結合する。クリーニングガスNF₃は、この問題の例証となる例である。優れたクリーニングガスと長年認められたため、NF₃の調達費用は着実に増加した。クリーニングガスをより有効に利用することで、ガス消費量を全体的に減少させることに帰着する、

改良されたりリモートプラズマチャンバクリーニングプロセスが必要である。この改良プロセスは、効果的にプラズマを生成し又はチャンバ堆積物を取り除くためには、チャンバベースの励起を必要とすることなく、リモートマイクロ波励起源だけによるべきである。ガス消費量が低減されることにより、ガス供給コスト、CFC発生及びガス廃棄費用が低減される。更に、この改良方法は、Ta205その他の誘電膜等の誘電膜に対して、商業上現実的な洗浄率を提供することができなければならない。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明の具体例は、処理チャンバの内面に形成された堆積物を処理チャンバよりクリーニングする方法であって、前記処理チャンバ内面が第1の領域と、前記第1の領域とは異なる前記第2の領域とを有し、以下の通りのステップを備えており、それらは、反応種を形成するため、不活性気体とクリーニングガスを備えるガス混合物を、前記処理チャンバの外側で分解するステップと、前記処理チャンバに前記反応種を提供するステップと、前記処理チャンバ第1の領域内で前記堆積物を前記反応種と反応させるステップと、前記処理チャンバ第1の領域内で形成された前記堆積物より、揮発性の組成物を形成するステップと、前記処理チャンバ第1の領域内に形成される堆積物から形成される前記揮発性の組成物を前記処理チャンバから取り除くステップと、前記処理チャンバの第1の領域と第2の領域の間の流体の連通を増加させるステップと、前記処理チャンバの第2の領域内の前記堆積物を前記反応種と反応させるステップと、前記処理チャンバの第2の領域内に形成される前記堆積物から、揮発性の組成物を形成するステップと、前記処理チャンバ第2の領域内に形成される堆積物から形成される前記揮発性の組成物を、前記処理チャンバから取り除くステップと、を有する。

【0008】本発明の別の具体例は、処理チャンバ内に配置される基板上で実行される堆積操作の結果として処理チャンバの中に形成される堆積物を、取り除く方法であって、この方法は、前記処理チャンバとは別個の遠隔チャンバ内でクリーニングガスを励起して、前記クリーニングガスから反応種を形成するステップと、前記反応種と混合する不活性気体を提供して、反応種を備えるガス混合物を形成するステップと、前記処理チャンバを第1の圧力に維持しつつ、前記処理チャンバに前記ガス混合物を提供するステップと、前記第1の圧力で前記処理チャンバを維持しつつ、前記反応種を前記堆積物と反応させて揮発性の組成物を形成し、その後、前記第1の圧力で形成される前記揮発性の組成物を、前記処理チャンバから取り除くステップと、前記第1の圧力とは異なる第2の圧力に前記処理チャンバを維持しつつ、反応種を備えている前記ガス混合物を前記処理チャンバに提供するステップと、前記処理チャンバを前記第2の圧力に維持しつつ、前記反応種を前記堆積物に反応させて揮発性

の組成物を形成し、その後、前記第2の圧力で形成される前記揮発性の組成物を前記処理チャンバから取り除くステップと、前記処理チャンバ内で処理操作を行い、前記チャンバ内に基板を配置せずに前記処理チャンバの内面上に膜を形成するステップとを有する。

【0009】

【発明の実施の形態】本発明は、処理チャンバの内面上に蓄積された処理副生成物の除去のための新しいインシチュウのクリーニングプロセスに関するものである。ここに説明された具体例では、抵抗加熱CVDチャンバを用いる。このタイプのチャンバの一例は、アブライドマテリアルズ社によって製造されるxZスタイルのシングルウエハ処理チャンバであり、これは、以下に説明されるように変形される。ここに説明するチャンバは、五酸化タンタル(Ta2O5)の熱堆積等、多種多様な半導体製造技術に利用できるモジュール式の処理システムの一部である。以下の記載及び具体例では、Ta2O5を備える膜の堆積及びクリーニングに関して説明されるが、当業者は、本発明で説明された方法が、本発明の範囲から離れることなく市販の処理システム及び操作に適用可能であると理解されよう。例の中には、周知の半導体処理装置及び方法論の説明をしなかったが、これは、本発明を不必要にあいまいにしないためである。

【0010】図1は、処理チャンバ10及び遠隔プラズマジェネレータ60を有する本発明の処理システム5の概要図である。処理チャンバ10は、リッド20及びチャンバ本体22を備えており、これらが一緒になって、排気可能で温度制御された処理環境を形成する。リッド20及びチャンバ本体22は、典型的には、良好な熱的特性を有する堅い材料で作られる。例えば、チャンバリッド20と本体22は、アルミニウムで形成されてもよい。

【0011】図1に示される代表的な具体例では、抵抗加熱基板支持体28がチャンバ10内に与えられ、これはワークピースを支持しかつ熱堆積反応のための反応熱を提供するが、この熱堆積反応は、例えば、タンタル前駆体の分解によるTa2O5の堆積、例えば(Ta(OC2H5)5)、TAETO、タンタルテトラエトキシジメチルアミノエトキシド(tantalum tetraethoxide dimethylaminoethoxide (Ta(OEt)4(OCH2CH2N(Me)2)やTAT-DMAE等である。基板支持体28内の抵抗ヒータ29に与えられる電力は、ヒータ制御装置44により調整される。ヒータ29への電力は、チャンバ10内で実行される望ましい処理操作のために適切な温度を与えるように調整される。チャンバ10内での基板支持体28の垂直位置は、リフトメカニズム42によって制御される。支持体シャフト41が、基板支持体28に結合し、メカニズム42を持ち上げる。チャンバ10内の基板支持体28の位置又はスペーシングは、シャワーヘッド32の下面と基板支持体28の上面の間の離隔距離である。スペーシングは、1000分の1インチ又はミルの単位で測定され、大きなスペーシングは、シャワーヘッド32と基板

支持体28の間の離隔距離が増加したことを示す。チャンバ10内に部品は、典型的には保護コーティングを有するか、あるいは、比較的高温及び、しばしば電子部品の製造に用いる腐食性化学環境への曝露を認容する耐久性のある原料から製造される。例えば、シャワーヘッド32はアルミニウムから形成されてもよい。グラフィットとセラミック組成は、基板支持体28及び支持シャフト41の製造にしばしば用いられる。

【0012】ポンプ15と絞り弁14を用いて、チャンバ10を排気し、チャンバ10内に圧力調整された環境を提供する。ポンプ15は、隔壁22の周囲の中に配置され基板支持体28を取り囲むポンピングチャンネル40に連通する。ポンピング板34が、複数の孔径36を具備し、チャンバ内部領域24及び26のより一様な伝導と排気を提供する。スペーシング38は、基板支持体28をポンピング板34から隔てる。図1の代表的なチャンバ10について、スペーシング38は0.112インチ〜0.088インチである。このように、基板支持体28とポンピング板34は実質的に、チャンバ10の内部を、上側内部領域24と下側内部領域26に分割する。また、上側内部領域24は、シャワーヘッド32とガス分配板30を有する。

【0013】処理ガスは、チャンバ10の外側でガスサプライ46及び48の中に貯蔵されている。バルブ及びコントローラ50は、チャンバ10へのガス導入に用いられるマスフロー制御装置等の電子測定系と制御系を表す。サプライ46と48からのガスは、バルブ及びコントローラ50より、内部のチャンバ領域24及び26に入る前に、チャンバサプライ配管52、リッド20、ガス分配板30そしてシャワーヘッド32の中を流れる。ここではシングルバルブ及びコントローラ50を用いて示したが、ガスサプライ46及び48は、チャンバ10内に要望されるプロセスによっては、独立のバルブとコントローラユニット50によって制御することができる。

【0014】また、ガスを励起してチャンバ内部領域24及び26に生成反応種を提供するために用いられる遠隔プラズマ生成システム60が図1に例示される。遠隔プラズマジェネレータ60の1つの利点は、遠隔プラズマジェネレータ60によって発生する生成プラズマないし反応種を、内部チャンバ処理領域24と26内にクリーニング又はプロセス用途に用いることにより、基板支持体28等の内部チャンバ部品、シャワーヘッド32又はポンピング34が、プラズマ生成のために内部処理領域24と26内にRFエネルギーが印加される場合に通常生じるイオン衝撃を受けないようにする。遠隔で励起されたプラズマにより生成した反応種は、有害性が低いと考えられるが、それは、内部チャンバ部品がイオン衝撃を受けないからである。

【0015】チャンバベースの励起クリーニング方法に対しての、本発明の遠隔励起クリーニング方法の別の利点は、遠隔励起クリーニング方法において、チャンバ条

件、例えば温度等がチャンバで行われるプロセスに関連する条件又はその近くに維持できるということである。例えば、475℃でTa2O5を堆積するためにチャンバが用いられる本発明の代表的な具体例では、遠隔励起された化学種を、同じ温度でチャンバに提供してもよく、これにより、堆積プロセスと遠隔励起クリーニングプロセスの間でチャンバ温度を変えるために要する延長時間が排除される。

【0016】ここで、図1に示される遠隔プラズマジェネレータ60の略図に戻れば、本発明の遠隔プラズマ器械60の部品と操作がよく理解できる。マグネトロン組立体62は、マグネトロンチューブを収容し、これはマイクロ波エネルギーを生成する。代表的なマグネトロンチューブ62は、羽根配列でアノードに囲まれる高温のフィラメント円筒状カソードから成る。電源装置から直流電力が供給されれば、このアノード/カソード組立体は、高磁界を生成する。この磁界に接触する電子は、アノードとカソードの間で移動する際、円の経路を進む。この円運動は、アノード羽根の間で、電圧共振、ないしマイクロ波を誘導する。アンテナは、マグネトロン62からアイソレータ64、そして導波管66へとマイクロ波を導く。アイソレータ64は、マグネトロン62への損傷を防ぐために反射電力を吸収し消滅させる。導波管66は、アイソレータ64からチューナー68へとマイクロ波を導く。

【0017】チューナー68は、マグネトロン62を空洞共振器（マイクロ波キャビティ）72のインピーダンスに整合させ、導波管66に位置する3つの同調スタブの垂直位置を調整することによって、反射電力を最小の程度とする。チューナー68は、マニュアル又は自動で調整可能である。自動チューナーがチューナー68で使用される場合は、実際の前進電力(forward power)を設定点に連続的に整合させるために、フィードバック信号をマグネトロン電源装置に提供してもよい。オートチューナーコントローラ70は、反射電力を最小にするため、導波管66内の同調スタブの位置を制御する。また、オートチューナーコントローラ70は、前進電力及び反射電力の読み出しだけではなく、スタブの位置を表示する。

【0018】手動のチューナーを用いる場合、必要に応じて、スタブの位置をマニュアルでセットすることができ、反射電力が最小になる。マニュアルのチューナーコントローラよりコストがかかるが、自動のチューナーコントローラは、クリーニングガス、例えばNF3等でプラズマを発火し維持することができる。クリーニングガスだけでは、プラズマを発火し維持することは困難であるため、通常、自動のチューナーコントローラが必要である。マニュアルのチューナーでは、別にプラズマ起動ステップが必要であり、この起動のステップでは、希ガスが遠隔装置の中を流され、プラズマが発火する。一旦希ガスによりプラズマがアプリケーション内に形成された後、クリーニングガスが導入される。最後に、クリーニング

ガスの流量が、要望された流動状態まで増加され、他方で、要望されたガス流れ又は気体組成が得られるまで希ガス流れが低減される。

【0019】さて、マイクロ波アプリケーションキャビティ72の横断面を示す図2に移れば、ここでは、供給管路78からのガスがマグネトロン62からのマイクロ波エネルギーに曝露される。アプリケーション72は、円筒状の形状の別のクォーツチューブ75内に配置される円筒状の形状のサファイヤチューブ76を有する。チューブ75及び76への過熱と損傷を防ぐために、冷却水が、チューブ75と76を切り離す冷却水路77に提供される。チューナー68を出たマイクロ波エネルギーは、この出たマイクロ波がチューブ75と76に向けられるよう、アプリケーション72に結合されたマイクロ波チャネル71の中を移動する。活性化容量73は、チャネル71とサファイヤチューブ76の横断面の交差部分により形成される。例えば、一具体例においては、活性化容量73は 4.733×10^{-3} リットルであり、マイクロ波チャネル71は方形の断面を有し高さ約3.4インチ、幅約1.7インチであり、他方、チューブ76は1.04のインチの内径を有している。代表的なマイクロ波電力の設定である1400~3200ワットは、活性化容量73内に295,800W/L~676,100W/Lの出力密度を発生させる。この出力密度は計測可能であり、システムの特定のジオメトリー及び利用されるマイクロ波電力によって変化する。方形かつ円筒状であると説明したが当業者には、チューブ75と76と同様に、他の形状をマイクロ波チャネル71に使用できることが理解されよう。チューブ76はサファイヤで、75はとクォーツで製造されると説明されているが、これらはマイクロ波エネルギーへの曝露を維持可能な他の適当な材料で作られてもよい。さらに、チューブ76は、供給ライン78から提供されるガスに不活性でなければならない。

【0020】ガス供給ライン78を介して供給されるガスまたはガス群は、マイクロ波アプリケーション72内の水冷されたサファイヤチューブ76に入る。マイクロ波エネルギーを受けたガスまたはガス群はイオン化し、これは処理チャンバ10内でその後クリーニング操作と処理操作において用いることができる反応種を生成する。例えば、そのようなクリーニングガスはNF₃であり、これは、基板がチャンバ10の中に存在しないとき、処理チャンバ内部領域24と26のクリーニングのために反応性の高い弗素を供給するために用いることができる。マイクロ波パワーレベルは、生成される反応種の量に対する1つの限界である。例えば、約3500Wのマイクロ波パワーレベルは、約1700sccmのNF₃を完全に解離することが可能である。1700sccmより大きなガス流動が、不完全なクリーニングガス解離を生じることもある。光プラズマ感応素子74は、キャビティ72内のプラズマの存在を検出する。マイクロ波アプリケーションキャビティ72内に発生する反応性種は、チャンバ供給ライン88を介してチャンバ10に供給される。

【0021】再び図1を参照して、チャンバ供給ライン8

8内の反応性種は、制御弁90を通過するが、この制御弁90は、オンオフバルブ又は分流加減器バルブシステムの部分であってもよい。バルブ90に分流加減器（ダイバータ）を使用することで、遠隔プラズマジェネレータの継続操作を可能にする一方、その反応種がチャンバ10に与えられる必要がない。制御弁90を通過した後、遠隔プラズマジェネレータ60からの反応性種は、チャンバ内部領域24及び26に入る前に、ガス供給ライン52、リッド20、ガス分配板30、そしてシャワーヘッド32の中を流れる。

【0022】遠隔プラズマジェネレータ60の中で解離されるべきガスは、ガスサプライ86及び84の中に貯蔵される。バルブ及び制御メカニズム80はガスサプライ86のための、バルブ及び制御メカニズム82は、ガスサプライ84のための、それぞれ、電子流量制御ユニットを表す。バルブと流れ制御メカニズム80と82の出力設定点は、ユーザーによって決定され、また、生じているガス流動出力は、サプライ配管78を介してマイクロ波アプリケーションキャビティ72に提供される。本発明に従って、ガスサプライ84は、チャンバ10内に形成される堆積物の除去のための反応種に解離されるクリーニングガスのソースであってもよい。本発明の具体例がNF₃の使用に関して説明されたが、反応性ガス又はクリーニングガスは多種多様なハロゲンとハロゲン化合物から選択されてもよい。例えば、反応性ガスは、塩素、弗素又はこの化合物（例えばNF₃、CF₄、SF₆、C₂F₆、CCl₄、C₂Cl₆）であってもよい。反応性のガスの選択は、取り除こうとする材料に依存する。例えば、本発明の代表的な具体例で述べられるように、反応性の弗素はTa₂O₅の蓄積物を取り除くか、クリーニングするために用いられてもよい。

【0023】また本発明に従えば、ガスサプライ86は、2倍の目的を有する希ガスのソースである。マニュアルのチューナー60を有するこれらマイクロ波ジェネレータ装置60に対して、不活性ガスをを用いて、マイクロ波アプリケーションキャビティ72内にプラズマを点火する。第2に、以下に記す比に従い、不活性ガスを反応性のガスと同時に流し、反応種再結合を防止することにより、チャンバ10に達する反応種の数を増加させる。また、不活性ガスを添加することは、それらの反応種のチャンバ10内の滞在時間を増加させることになる。不活性ガスとクリーニングまたは反応性のガスの比を、流量について説明したが、不活性ガスとクリーニングガスの比は、また、他のあらゆる手段により決定することができ、チャンバ10に提供される各ガスの相対量を記述することができる。

【0024】ガスサプライ78がアプリケーション72に不活性ガスを流すように、図1、5及び7に例示されるが、これに替えて、不活性ガスを供給ライン88で反応種の流れに与えることができることが理解されよう。アプリケーション72の下流で反応種の流れに不活性ガスを与えることは、アプリケーション72内のクリーニングガスの流れに印加され

る電力の量を増加するという更なる利点を有するが、これは、クリーニングガスだけがアプリケーション72の中を流れるからである。

【0025】図1に例示されるように、遠隔プラズマ生成ソースと共に動作するように修正された処理チャンバで、本発明を実行することが可能である。図3は、本発明の新しいクリーニングプロセスを示すブロック線図300を有する。遠隔プラズマクリーニングプロセスが、図3のブロック302~308で示される。例示の目的で、本発明の方法を、図1の処理システム5と同様の処理システムのために実行されるように説明する。従って、以下の記載では、図1に示される参照番号及び要素が用いられる。

【0026】ブロック301の中に示されるように、本発明の第1のステップは、処理チャンバ内に堆積物を形成する処理操作を行うことである。この例示では、説明される処理操作は、およそ450℃でタンタル前駆体と酸化剤を混合することにより五酸化タンタルを熱堆積するものである。基板は、抵抗加熱基板支持体上に配置され、ヒータコントローラ44が、約450℃の適切な処理温度に基板を維持するよう、電力ヒータ29を調整する。たとえば、リフト機構42はチャンバ10内で、シャワーヘッド32に対して400ミルの間隔で基板支持体28を配置したその上にウエハを配置する。図1のガスサプライ46及び48は、酸素または亜酸化窒素等の酸化ガスとTAT-DMAEまたはTAETO等のタンタル前駆体を有する。N₂といった不活性ガスを、タンタル前駆体のためのキャリアガスとして用いてもよい。バルブ及びコントローラ機構50は、タンタルガスと酸化ガスの流量を混合し調整して、これをチャンバ10に運ぶ。支持体28上に配置される基板の温度は、流入するガス流体から五酸化タンタルを形成するに十分である。

【0027】プロセスによっては、各基板が処理された後にクリーニングを必要とする。別のプロセスでは、連続的な一連のプロセスシーケンスの後の、あるいは指定された膜厚に堆積の後の、定期的なクリーニングでよい。定期的なクリーニングの1つの例としては、各基板が約100オングストローム(A)のTa₂O₅膜の受け取る場合に、一連の基板が処理されるTa₂O₅の堆積である。多数の基板がこのように処理された後、最後の基板がチャンバから取り出された後チャンバはクリーニングされる。Ta₂O₅のための代表的な処理サイクルは、各100オングストローム(A)をウエハ500枚ごとに、あるいは、膜の1ミクロン堆積ごとに、一回チャンバをクリーニングすることである。

【0028】チャンバ10等の堆積チャンバは、チャンバ内に配置される基板の上に優先して膜を堆積させるように設計されている。また、堆積は、プロセスガスに反応を起こさせるための十分な温度では、内部領域24及び26内の他の表面にも生じる。活性化のため又は反応の駆動のために熱エネルギー以外の手段を有しないチャンバ10

等の抵抗加熱堆積チャンバでは、シャワーヘッド32の下側面、ポンピング板34の上側面及び第1の内部領域24を囲む壁32等が、抵抗加熱された基板支持体に近接するため、堆積は加熱されたこれらの面上に生じることが予期される。基板支持体34が処理されている基板より大きいので、堆積はまた、処理されているウエハによって覆われない基板支持体34の上側表面の外周に生じる。定期的なクリーニングプロセスサイクルでは、蓄積物は、ウエハの枚数、プロセス及び各ウエハ上に堆積する膜厚によって変化する。

【0029】図4は、ポンピング板34のエッジと、上述の堆積プロセスを実施後スペーシング38により隔てられる基板支持体28の拡大図である図1の図Aを例示する。通常、図4は、生じうるチャンバに特定の蓄積を代表する。代表的な定期的なクリーニングプロセス（例えばTa₂O₅の堆積）では、ウエハが連続して100枚処理され各ウエハが100オングストロームのTa₂O₅層を受ける。この処理サイクルは、基板支持体28に最も近いポンピング板34のエッジの露出領域に、最も大きな蓄積、約200オングストロームを形成する。他のチャンバ部品の蓄積の厚さは、構成要素の温度と処理ガスへの曝露の度合いによって変化する。

【0030】ポンピング板34と基板支持体28によりチャンバ10が内部領域24と26に見かけ上分割されることは、内部のチャンバ構成要素の相互関係により特定のチャンバ内部領域が妨害されることを例示する。このように、ポンピング板34と基板支持体28の間のスペーシング38が狭いため、内部領域24及び26が生じる。この狭いスペーシング38は、内部領域24及び26の間の流体連絡を低下させる領域である。狭いスペーシング38は、処理チャンバ10内に起こる妨害の代表であり、チャンバ内部の好ましい堆積領域24を越えたところの反応条件は同様ではない。スペーシング38のような妨害及び制限は、チャンバ10等の抵抗加熱チャンバに限定されず、他の処理チャンバにも見出される。阻害が、処理領域内に異なる領域を形成する他の処理装置からの例は、以下を含む：リアクタ内に用いられる石英ポートによって、水平なフィードチューブリアクタの水平姿勢機構の部分が、チューブリアクタの中に利用されるクォーツウエハポートが、ポートを動かす装置によってブロックされる管のそれらの部分を妨げるような方法で妨げられ；エッチングプロセスに用いられるシャドウリングは、反応する物質ガスに露出されない面と逆にそれにさらされる面を有し、そして、エッチングされた材料を蓄積する場合があります；そして基板ハンドリングシステムは、処理チャンバの一部を妨害又は制限することができるリフト機構になってもよい。

【0031】このように、図1の特定の具体例の中では、チャンバ10は、第1の内部領域24と第2の内部領域26に分割される。ポンピング板34とほぼ同じ面にある支

持体28を有するスペーシング38の結果、第1の内部領域24の有効チャンバ容量は、およそ0.6402Lである。

【0032】図3のフローチャート300及びブロック302に示されるように、基板がチャンバ10内にない間に、処理チャンバの外に位置する遠隔プラズマジェネレータ内にプラズマを点火する。先に述べたように、プラズマ開始ガスが、マニュアルのチューナーコントローラを有する遠隔プラズマシステム60に利用されるだろう。自動のチューナーコントローラを有する遠隔プラズマシステム60の場合、持続可能なプラズマを、選ばれたクリーニングガスから直接に点火することができるので、ステップ302は必要でない。プラズマ開始ガスは、VIII群のガス、例えばHe、Ne、XeやAr、あるいは不活性ガス、例えばN₂や、プラズマ起動のために適する他のガスであってもよい。ここで、不活性ガスまたはプラズマ開始ガスは、ここで説明した出力レベルでマイクロ波エネルギーに曝露されたときに解離するガスのことである。特定の具体例では、ガスサプライ86はArを有し、そして、バルブ及び制御メカニズム80が、Arの流れを、毎分約600標準立方センチメートル (sccm) で供給ライン76を通してマイクロ波アプリケーションキャビティ72へ流れるように調整する。

【0033】アプリケーションキャビティ72の内部では、ガス流体は、水冷式のアプリケーション管を通り抜け、これは少なくとも100W、好ましくは約1400ワット〜3200ワットの間でマグネトロン組立体62によって発生するマイクロ波エネルギー準位に曝露される。図1のチャンバ10及び上記のガス流動のために適した代表的なマイクロ波エネルギーレベルは、約1400ワットである。プラズマを点火するためにArを用いる具体例では、マイクロ波エネルギーはサファイア管を通り、Arプラズマがマイクロ波アプリケーションキャビティ72内に生成する。プラズマは、高エネルギーまたは内部で高温のArを生成し、これが、遠隔プラズマ供給ライン88、制御弁90、そしてガス供給ライン52内を流れて、チャンバ10に進入する。プラズマがマイクロ波アプリケーションキャビティ72の中に確立される間、チャンバ10は約2.0のトルに維持される。マニュアルのチューナーによるそれらのシステムでは、Ar等の不活性ガスを用いて遠隔プラズマを点火し、チャンバ10に安定な高エネルギーArフローを得るための代表的な時間は、約10秒以下である。

【0034】次に、ブロック303に示されるように、反応種を形成するために、遠隔チャンバ内でガスを励起する。ガスサプライ84は、Cl₂、HCl、ClF₃、NF₃、SF₆、F₂やHF等のハロゲン支持ガスを有していてもよい。自動のチューナーを有する遠隔装置60の場合、励起されたガスをプラズマ点火のためにも用いることができるため、ステップ302と303を一緒に実行してもよい。アプリケーション72内にプラズマを維持しつつ、ガスが供給ライン78の中を通過してマイクロ波アプリケーションキャビティ72に流入す

ることができるよう、バルブとコントローラ機構82によって、励起ガスの流量が与えられる。アプリケーションキャビティ72の内側では、マグネトロン組立体62によって発生させられるマイクロ波エネルギー及び点火されたプラズマにクリーニングガス流体が露出される、水冷式のサファイアアプリケーション管を、ガス流体は、通り抜ける。代表的なマイクロ波エネルギーレベルは、約1400ワットである。NF₃がクリーニングガスとして用いられる具体例では、アプリケーションキャビティ72内で解離することにより、反応性のF、若干のN₂、NFとF₂の痕跡量を生成する。NF₃を用いることは、解離エネルギーが低いことや、各個々のNF₃分子からの多数の反応性の弗素化学種が生成すること等、特定の利点を有する。

【0035】次に、ブロック304に示されるように、処理チャンバの内部の領域に、不活性ガスと反応種の混合物が提供される。マイクロ波印可キャビティ72がチャンバ10に対して遠隔に位置するため、遠隔プラズマシステム60によって発生する反応性の種は、チャンバ供給ライン88に沿ってある距離を流れてチャンバ10に達する。その結果、チャンバ10へ流れる間、アプリケーションキャビティ72で解離によって生成される反応種は、衝突して再結合する場合がある。チャンバ10内に形成される堆積物を取り除くために反応種を提供する代わりに、再結合された反応性の低いガスをチャンバ10に提供する。NF₃がアプリケーション72内で励起される具体例では、反応性のFが再結合することがあり、あるいはそれに替えてチャンバ10にF₂とNF₂を提供してもよい。このように、チャンバ10の前で反応種が再結合することにより、チャンバ内部領域24及び26に反応種を提供するための遠隔プラズマジェネレーションシステム60の効率を低下させる。反応種で不活性ガスを提供することは、チャンバ10へ向かう分子の衝突が反応種と不活性ガスの間で生じる確率を増加し、そのために反応種再結合の確率が低減する。

【0036】不活性ガスにAr、クリーニングガスにNF₃である代表的な具体例では、それぞれの流量は、NF₃が約200sccm、Arが約400sccm Arに調節される。不活性ガスと反応性のガスの間の比を約2:1に維持することにより、反応性ガスの解離により生成する反応種が再結合する確率を減らす。また、反応性ガスと不活性ガスの最適な比は、利用される特定の遠隔プラズマジェネレータの特性と用いる反応性ガスのタイプに応じて変えてもよい。反応性のガスと不活性ガスの比が上記の比2:1の約25%内に維持されたときに、有利な結果が成し遂げられた。

【0037】次に、ブロック305に示されるように、処理チャンバ内の圧力を調整する。一般に、チャンバ圧力の特徴としては、圧力が高ければ、チャンバ内の反応種の滞在時間が低減される傾向があるということである。しかし、クリーニングが領域24内で最初に開始する場合、堆積物の量が最も多くなる。たとえ励起化学種の滞

在時間と平均自由行程が小さい場合でも、励起化学種が堆積物と化学反応しこれを取り除く確率は高い。他方、圧力が低ければ、平均自由行程と滞在時間が大きくなる傾向があり、そのためチャンバの内部の領域を全体に反応種を分散することができると考えられる。本発明の特定の具体例では、チャンバ圧力を約2.0トールとした場合、基板支持体28上又はチャンバの中心部では、チャンバの壁22又はチャンバの外の部分よりも高いクリーニング速度となる。

【0038】次に、ブロック306の中に示されるように、処理チャンバの内部領域で形成される堆積物を取り除く。チャンバ内面上に形成される堆積物を取り除くこと、ないしチャンバをクリーニングすることは、チャンバ面の堆積膜を反応種と反応させて揮発性の組成物を形成することにより成し遂げられる。例えば、図1のチャンバ10等、五酸化タンタル堆積に用いられるチャンバでは、反応性の弗素を形成するために先に述べたようにNF₃を遠隔で解離することができる。反応性の弗素は、次いでチャンバ10の内部内に形成された五酸化タンタルと化学反応し、これを取り除く。図1の中に例示されたチャンバ10を参照すれば、チャンバ10に提供される大部分の反応種は、内部のチャンバ領域24内に形成される堆積物と化学反応する。基板支持体28とポンピング板34の間のスペーシング38が狭いため、反応性種の大部分は、内部領域24の有効容積の中に残留する。反応種の中には、基板支持体28とポンピング板34の向き合うエッジ及び下面に形成された五酸化タンタル堆積物と相互に作用するものもある。一般に、取り除かれる堆積物の大部分は、内部領域24内の面上に形成されたものである。例えば図1のチャンバ10では、シャワーヘッド32の下面とポンピング板34と基板支持体28の上面の上に形成された堆積物は、反応種と化学反応し、揮発性の組成物を形成するだろう。

【0039】取り除かれるだろう堆積物は、図1の拡大図Aを例示する図4を参照することにより、よく理解することができる。図4には、ポンピング板34と基板支持体28がスペーシング38によって隔てられるチャンバの一部の様子が示される。それらの相対位置とチャンバ設計の理由で、ポンピング板34と基板支持体28が、直接にお互いに隣接したとき、あるいは図1及び4に示す堆積位置の中にあるとき、スペーシング38が最小になる。直接にポンピング板34に隣接する位置にある基板支持体28に対しては、図1及び図4に示すように、スペーシング38は、0.088~0.112インチのオーダーにある。チャンバ領域24に導入される反応種は、ポンピング板34と基板支持体28の上面上に形成された堆積物25と容易に接触して反応するだろう。スペーシング38のため、領域24内に導入した反応性種が領域26に進入することが、ある程度妨げられる。その結果、取り除かれる大多数の堆積物を有するチャンバ内部領域24は、クリーニングされる第1の領域と

なる。第1のクリーニングサイクルの間、大部分のクリーニングは、第1の領域24内で行われる。

【0040】図3のフローチャート300に戻れば、ブロック307に示されるように、揮発性の化合物が処理チャンバから取り除かれる。反応性の弗素種が五酸化タンタル堆積物と反応して揮発性の化合物を形成するため、これら化合物はポンプ15を介してチャンバ10の内部領域から排気される。このプロセスは、処理領域24内に形成された堆積物が取り除かれるまで続く。上述の2:1の不活性ガス/反応性ガスの比でNF₃から生成した反応種についての代表的な除去速度は、五酸化タンタルでは毎分約1ミクロンである。

【0041】本発明の特定の具体例では、最初の一連のステップ304~307は、小容積の処理領域と高圧に対して、有利な不活性ガス-クリーニングガス混合物を提供したことを示す。例えば、この小容積の処理領域とは領域24の容量であってもよく、この高圧とは約2トールであってもよい。当業者には、ブロック304、305、306及び307を続けて図示し説明したのは、本発明の方法を説明する際の明瞭性のためだけであることが理解されよう。本発明を行う場合、当業者は、ブロック304、305、306及び307で説明される各ステップを、これとは異なる順序又はほぼ同時に実行することができるだろう。

【0042】次のステップは、ブロック308に示されるように、全ての内部チャンバ領域で形成された堆積物が取り除かれるまで、ステップ304、305、306及び307を繰り返すことである。このステップは、内部チャンバ構成要素の相対位置と、チャンバ圧力と反応種との間の関係に起因する制限を考慮する。第1の一連のステップ304、305、306及び307では、堆積物は主に内部チャンバ領域24から取り除かれた。第2の一連のステップ304、305、306と307では、反応種が提供され堆積物が別の処理領域より、あるいは一連の処理領域より取り除かれる。

【0043】図5に例示されるチャンバ10の代表的な具体例では、別の内部領域内での遠隔励起化学種を容易にするため、基板支持体28が別の場所に移された。換言すれば、処理領域24及び26の間での流体連絡を増大するため、基板支持体28が別の場所に移される。このように、領域24に進入する反応種は、より容易に領域26にアクセスしそこに形成される堆積物と反応することが可能である。この代表的な具体例では、内部の領域とは、内部領域24と26のことを指す。支持体28の運動について例示しているが、別のチャンバでは、第1の処理領域と第2の処理領域の間、あるいは第2の処理領域と次の処理領域の間の流体連絡を増加させるため、別の構成要素の互いに相対的な位置を変更する。

【0044】図5に戻れば、この図5は、図1の処理システム5を示し、ここでは、上記のステップ301~307が行われる。また、図5のチャンバ10も、追加の処理領域への流体連絡を増加させるための内部構成要素の配置を例

示する。図5では、ポンピング板34の下位置にある抵抗加熱基板支持体28が、効果的にスペーシング38を増加させ、そして領域24と領域26の間の流体連絡を増加させる。その結果、領域24に進入した反応性種は、容易に領域26内へと流れる。例えば、図1で基板支持体28のスペーシングが約400ミルであるならば、図5ではスペーシングは約550ミルである。図5の処理システム5は、その他の点では図1の処理システム5と同様に構成される。このように、同様の構成要素は同じ照合番号によって参照される。

【0045】さて図6を参照し、これは図5の拡大図Aであるが、拡大されたスペーシング38と同様に、処理ステップ301~307の影響をよく理解することができる。図5及び6は、ポンピング板34の平面の下下降位置にある基板支持体28を例示する。スペーシング38は、図1及び4の場合のように、基板支持体28とポンピング板34がほぼ同じ水平面上にある場合を表すスペーシング38と比較して、かなりより大きい図5及び6の大きくなったスペーシング38により、遠隔で生成した反応種が下側チャンバ内部領域26に輸送されるようになり、そこに形成された堆積物が除去できるようになる。このように、基板支持体28が下降位置にあれば、チャンバ10の有効容積は、内部チャンバ領域24及び26の両方のフルボリュームであり、何故なら、チャンバの各内部領域からチャンバに導入される反応種を制限しないようスペーシング38が十分に大きいからである。また、プロセスの第1の一連のプロセスステップ301~307の結果として、基板支持体28とポンピング板34の両方の上面からの堆積物25の除去が、図6に示される。更に、図6が例示するように、基板支持体28とポンピング板34のエッジ及び底面上の堆積物25は、これらの領域が反応種により容易に接近できるため、取り除くことができる。ステップ308は、第1の一連のステップ304~307によるクリーニングが不十分であった追加処理領域から、追加の堆積物を取り除くためにステップ304~307を繰り返すことが望まれることを示している。

【0046】図3のフローチャート300に戻り、そしてブロック308に従えば、次のステップは、全ての堆積物が取り除かれるか全ての内部の領域が清浄になるまで、他の内部の領域に対してブロック304、305、306及び307を繰り返すことである。処理領域に提供されるガス混合物における不活性ガスと反応種の比を、ステップ304~307の繰り返しの各々の間に変えてもよく、あるいは、ある要望された比に維持してもよいことが、理解されよう。例えば、先に述べたように、不活性ガスとクリーニングガスは、有利な2:1の比を維持してもよい。図5及び6に示すように、処理チャンバの内部の領域は、ステップ304で参照されるように、内部領域24及び26を有する、より大きい容量を有している。

【0047】次に、ブロック305によれば、チャンバ10

内の圧力を調整する。スペーシング38を大きくする他に、圧力の低減と、生じる滞在時間の増加により、反応種が内部領域26から堆積物を取り除くのを助けると考えられる。従って、チャンバ10内の圧力は低減され、これにより、反応種を内部領域34及び26内に広げる。代表的な圧力は、約900mT、又は、第1のステップ305で用いられる圧力のおよそ半分の圧力である。

【0048】次は、ブロック306に従って、堆積物を反応種と反応させて揮発性の化合物を形成することにより堆積物を取り除く。ここで、図6の中に示されるように、反応を起こす堆積物の大部分は、下側の堆積領域26内で生じうる他の蓄積物だけではなく、基板支持体28とポンピング板34の上に残っていたものである。反応種がその領域の中に残っている堆積物と反応する間、クリーニングは領域24内で継続される。前述の通り、反応種は、処理領域内で堆積物と反応して、揮発性の化合物を生成する。

【0049】本発明の特定の具体例では、第2の一連のステップ304~307は、低い圧力で大きな容量の処理領域に有利な不活性ガス・クリーニングガス混合物を提供することを表す。たとえば、不活性ガス・クリーニングガス混合物が、約900mTの圧力で、領域24及び26の容量の和に提供される。あるいは、第2の一連のステップが、第1の一連のステップでクリーニングされたチャンバ容量より大きい容量を有するチャンバ内部領域で第1の一連のステップ304~307で用いられる圧力の半分の圧力で行われる。

【0050】次は、ブロック307に従い、揮発分がチャンバから取り除かれる。例えば、チャンバ10で、揮発性の化合物は、ポンプ15を介して内部領域24及び26から排気されるだろう。所望の場合、制御弁90を配置して開け閉めすることにより、反応種と不活性ガスがチャンバ10に到達することを防止する。反応種と不活性ガスがチャンバ10に進入することをそらすかあるいは妨げるかにより、前のクリーニング操作のあらゆる残留ガスを排気できるようにする。次は、ブロック308に従い、ステップ304、305、306及び307を繰り返し行い、他の内部領域の中に形成された堆積物を取り除く。具体的に考慮されるべき事項は、ステップ304~307を繰り返し行い、本発明の方法によりクリーニングされるチャンバの特定の構成に従い各内部のチャンバ領域に反応種を提供する。基板支持体28とポンピング板34が上側及び下側の内部領域24及び26をつくるように、他の処理チャンバは、そのチャンバの特定の内部構成要素によってつくられた領域又は部分を有するだろう。チャンバ領域24と26が基板支持体28とポンピング板34の間で狭くなることについて説明されるが、これらの制限または阻害は、処理装置の実際上のタイプごとに生じる同様の問題を単に例示するだけのものである。チャンバ10の場合のようにポンピング板を使用するリアクタもあるが、他のリアクタは、分割し、

ガス流動を制限し、あるいはチャンバ内部の内の処理領域の間の流体連絡を低減するプロセス特定の構成要素を有する。例は、相対位置によって、堆積ガスとクリーニングガスから互いを妨げるウエハハンドリング及びサセプタリフト機構を有するタイプ、のRF励起プラズマ堆積チャンバを有する。このタイプのチャンバでは、チャンバ内部を効果的にクリーニングするためにハンドラーとリフト機構を交互に置くことによって処理領域をつくってもよい。別の例は、処理の間のウエハ運動を排除するためにシャドウリングを使用するエッチングチャンバである。このチャンバでは、処理領域は、チャンバ内のシャドウリングの相対的な配置によって決定することができる。他の例では、処理領域に基板を動かすために軌道又はコンベヤシステムを利用するチューブリアクタやその他の処理システムを有する。トラックシステムまたはコンベヤシステムによって妨げられる領域により、このタイプのシステムの処理領域を形成することができる。チャンバタイプ、プロセスタイプチャンバ領域の他の例や、与えられたチャンバ内の内部構成要素の阻害要因は、当業者に理解され、またこれらは本発明の範囲内にある。

【0051】次は、ブロック309に従い、処理操作を再開する前に処理チャンバの内側に材料の層を堆積する。このステップの1つの目的は、残留クリーニングガス、反応物及び揮発性の化合物を取り除くことであり、これは、処理チャンバ内に残しておいた場合に、その後堆積する膜を阻害する。状況により、不活性ガスでチャンバをパージすることで十分であるが、プロセスによっては、チャンバ内部面上に膜の層を故意に堆積しておくことにより、改良された結果をなしとげる。シーズニングを行うステップ、ないしはプロセスチャンバ内に故意に膜の層を堆積させるステップは、弗素をクリーニング反応物として用いた場合に特に重要である。残留弗素は、その後処理された基板上に堆積する膜の品質に対して有害な影響を有することがある。基板の存在なしにチャンバ内で膜の層を形成することにより、残留ガスが反応して揮発性の化合物を生成し、チャンバから排気される。さらに、チャンバ内に残っている粒子は、堆積したシーズニング層の中に捉えられる。いずれの場合も、シーズニングのステップは、未反応ないし残留のクリーニングガスと副生成物を、処理操作の再開の前にチャンバから確実に取り除けるようにする。タンタル堆積チャンバ等の代表的な具体例では、約475℃の温度でチャンバへ酸化TAT-DMAE及び酸化ガスを流入することによって五酸化タンタルを基板支持体28の上やチャンバ10の他の内面上に堆積してもよい。Ta205のための代表的なシーズニング層は、約2500オングストロームである。シーズニング層の特定の厚さと組成は、堆積する膜とチャンバとタイプによって変える。

【0052】本発明の最終のステップ、すなわちブロッ

ク310は、チャンバ10内での処理操作の再開である。この処理操作は、約450℃でタンタル前駆体と酸化剤を混合させることによる五酸化タンタルの熱堆積である。したがって、基板は抵抗加熱基板支持体28上に配置される。ヒータコントローラ44は、約450℃の妥当な処理温度に基板を維持するため、電力提供ヒータ29を調整する。例えば、リフト機構42は、シャワーヘッド32に対して、例えば400ミルのスペーシングで、チャンバ10内に基板支持体28及びその上のウエハを配置する。図1のガスサプライ46及び48は、酸素や亜酸化窒素等の酸化ガスと、TAT-DMAEやTAETO等のタンタル前駆体を有する。バルブ及びコントローラ機構50は、タンタルと酸化しているガスの流量を混合し調整して、これらをチャンバ10に届ける。支持体28上に配置される基板の温度は、入ってくるガス流体から五酸化タンタルを形成するのに十分である。

【0053】本発明の代替法は、また、多数の処理領域（例えばチャンバ10の第1の処理領域24及び第2の処理領域26）を有するチャンバの1つの処理領域内で行われてもよく、あるいは、図7のチャンバ100のように1つの処理領域だけを有しているチャンバ内で行われてもよい。この代替法は、クリーニングガス/不活性ガス比とチャンバ圧力を調整することによって行われる。図7に戻れば、単一の処理領域を有するチャンバの具体例を、よりよく理解することができる。

【0054】図7は、単一の処理領域を有する代表的なチャンバ100を例示する。チャンバ100は、アルティマ(Ultime)高密度プラズマ(HDP)化学気相堆積(CVD)チャンバ、または、アルティマ HDP CVD チャンバ(米国カリフォルニア州サンタクララのアプライドマテリアルズ社により製造)であってもよい。チャンバ100は、プラズマ生成装置60とガスサプライ46及び48に結合される。チャンバ100はチャンバ本体105及びリッド110を有し、これらが一緒に、圧力と温度が制御された処理領域107を形成する。基板支持体125は、支持上面126を有し、処理領域107内に配置される。支持体アーム130がチャンバ本体105に結合し、基板支持体125を支持する。処理領域107内の圧力は、ターボポンプ140と粗引きポンプ150によって提供される。スロットバルブ及びゲートバルブ組立体135は、処理領域107をターボポンプ140と粗引きポンプ150から分離して、処理領域107内の圧力を制御する。プラズマ装置60と、図7に示された同様の符号の要素は、図1と5に関して先に述べたように、同じものである。図7の遠隔プラズマ装置60はマニュアルのチューナーコントローラ68であるが、自動のチューナーコントローラを用いてクリーニングガスを解離してもよい。

【0055】ガスサプライ48及び46は、商業品質の半導体膜を堆積するために用いられるあらゆる様々な処理ガスであってもよい。二酸化ケイ素、窒化ケイ素、弗素ドーブのケイ酸塩ガラス(FSG)その他の低誘電率膜(リ

ンドープのケイ酸塩ガラス (PSG) またはその他のプリメタルの誘電体膜) を堆積させるため、ガスサプライ46、48、そして、バルブ及びコントローラ50は、処理領域107に前駆体材料を提供するための構成を有していてもよい。ガスサプライ48及び46からのガスは、ガスサプライ入口52、次いでチャンバガス入口120の中に流入する。誘導コイル112は、チャンバ100内に行われる堆積プロセスのために、基板支持体上面126の上方の領域107部分にRFエネルギーを提供する。コイル112によって提供されるRFエネルギーは、堆積プロセスだけのために用いられ、本発明の遠隔クリーニングプロセスの間は用いられない。図7のチャンバ100等の代表的なプラズマ励起堆積リアクタでは、堆積物は、コイル112によって輪郭を描かれる領域の中に主に形成される傾向があるだろう。処理領域107内での堆積に対するコイル112の影響は、基板支持体上面126に生じる堆積物に最も高く集中し、そして、基板支持体125と支持体アーム130の側に沿って生じる。程度は非常に小さいが、チャンバリッド110及びチャンバ本体105の内面上にも堆積物が形成される。

【0056】本発明の代替法は、チャンバの単一の処理領域の中で行うことができることが、図8を参照することにより、よく理解されるだろう。図8は、本発明の単一処理領域の方法のフローチャートである。

【0057】先ず、図8のフローチャート800のブロック801に示されるように、処理チャンバ内に堆積物を形成し、チャンバから処理された基板を取り除いた後に、遠隔プラズマ装置の中にプラズマを点火する。マニュアルのチューナーコントローラを用いるため、プラズマはプラズマ開始ガスの使用を通じて、より容易に点火される。プラズマの点火は、約1000sccmの流量でアプリケーション72内を流れるAr等の不活性ガスを流すことにより実行される。チャンバ100内の圧力が600mTを超えるまで上昇した後、マグネトロン62がアプリケーション72内のArガス流れにマイクロ波エネルギーを向ける。いったんプラズマが点火され、そして、クリーニングガスの流量を増加させつつ、プラズマ開始ガスの流量を減らすことにより、クリーニングガスが導入される。ArとNF3を用いる代表的な具体例では、Arを約1000sccmで流し、約3200Wでマイクロ波エネルギーを生成するマグネトロン62によりプラズマを点火する。次いで、NF3を約100sccmでアプリケーション72に導入する。少しの後、不活性ガスの流量を低減しつつ、クリーニングガスの流量を増加させる。その結果、アプリケーション内を流れプラズマに解離しているクリーニングガスで、アプリケーション72内に支持されたプラズマを提供するクリーニングガスのみ、あるいはNF3のみが要望される特定の例では、安定なプラズマがNF3の流れで形成された後、Ar流量を止めてもよい。マニュアルで調整されたシステムでは典型的には、Arはプラズマの点火のために約1000sccmで導入される。NF3が導入され、次

いで、Ar流れが、要望されたAr/NF3比によって調整される。ここにプラズマが点火され、そして、アプリケーション72の中に導入され解離されるクリーニングガスのみで支持され。上記のプロセスが、マニュアルチューン遠隔プラズマシステムでプラズマを点火することを例示していると理解されよう。また、自動で調整する遠隔プラズマシステムを用いて、アプリケーション72内にプラズマを点火するために不活性ガス又は他のプラズマ開始ガスを最初に用いずに、直接クリーニングガスを励起ないし解離することができる。

【0058】次は、ブロック802に示されるように、クリーニングガスを希釈すべきかどうか決定することである。ここでクリーニングガスの希釈とは、クリーニングガス又は反応種生成ガスの流れに不活性ガスを加えることをいう。ステップ802で指示するように、クリーニングガスは、不活性ガスと協働で又は単独で提供されることができる。クリーニングガスの希釈が要望される場合、次のステップはブロック811に示される。クリーニングガス希釈が要望されない場合は、次のステップはブロック803に示される。

【0059】クリーニングガスの希釈が要望されない場合、クリーニングガス流量を調整するブロック803まで進む。このステップでは、プラズマ点火の間、クリーニングガス流量を、利用される流量から要望されたクリーニングステップの流量へと調節する。クリーニングガス流量は、例えば、消費されるクリーニングガスの費用、マグネトロン62の電力容量やチャンバからクリーニングされる膜堆積物のタイプによって、変えることができる。マグネトロン62のパワー出力により、クリーニングガス流量を、完全又はほぼ完全に解離できるように制限できることを覚えているべきである。例えば、遠隔プラズマ装置60の定格3500Wのマグネトロン62では、1700sccmのNF3ガス流れの約99%を解離できると考えられる。マグネトロン電力を3500W一定とする場合、ガス流れが1700sccmを超えれば、解離のパーセンテージが低減することになる。所与のクリーニングガス流量に対し、マグネトロン電力出力レベルを低くすれば、解離のパーセンテージが低くなる。例えば、300sccmのNF3流量と500Wのマグネトロン電力では、解離は約95%しかできないが、1500sccmのNF3流量と3200Wのマグネトロン電力では、99%以上の高い解離を生成する。クリーニングガス流量を要望された速度に調整した後に、ブロック804まで進む。

【0060】クリーニングガスを希釈することが望ましい場合には、クリーニングガスと不活性ガスの混合物が遠隔プラズマアプリケーション72に提供される。アプリケーション72の中にクリーニングガスだけを流し、不活性ガスをアプリケーション72の下流に導入することにより、クリーニングガス希釈を行うことができる。この場合、クリーニングガス流量に調整を提供するブロック811に示されるように進む。ブロック803に関して述べたように、クリー

ニングガスを要望された速度に調整することができる。クリーニングガス流量を調整した後、クリーニングガス希釈の次のステップは、要望された速度に不活性ガス流量を調整することである。ブロック811及び812でのクリーニングガスと不活性ガスの調整は、図7のバルブ及びコントローラ80と82によって行われる。当業者には、不活性ガスの流れがクリーニングガスの流れの前に変更されるように、あるいは、これらガス流れをほとんど同時に調整できるよう、この調整のシーケンスを逆にすることができることが理解される。マグネトロン62が3200Wのマイクロ波エネルギーをアプリケーション72に届ける本発明の例示的な具体例では、クリーニングガスは、NF3でありそして、不活性ガスはArであり、本発明に従うクリーニングガス希釈のための代表的な流量は、NF3/Ar流量比が1:1又は好ましくは2:1である。本発明の特定の具体例では、Arガス流量は750sccm、NF3流量は1500sccmであり、アプリケーション72に向けられるマイクロ波エネルギーは4500Wである。

【0061】ブロック803に従ってクリーニングガス流量を調整した後、またはブロック811及び812に従ってクリーニングガスと不活性ガスの流れを調整した後、ブロック804に示されるように、次のステップは、処理チャンバに反応種を提供することである。クリーニングガス希釈を用いるかどうかに関係なく、クリーニングガスはアプリケーション72の中を通過しマグネトロン62により発生したマイクロ波エネルギーに曝露されれば、クリーニングガスは解離する。十分なマイクロ波エネルギーが提供される限り、アプリケーション72に提供されるクリーニングガスは解離され反応種が形成される。例えば、NF3がクリーニングガスに用いられる場合は、アプリケーション72内で起こる解離は、反応性のF、若干のN2と、NF及びF2の痕跡量を生成する。図7のチャンバ100の例示的な具体例を再び参照すれば、アプリケーション72を出た反応種は、供給ライン88の中を通過し、分流器90を通過し、そして、チャンバ供給ライン52の中に入る。反応種は、チャンバ供給ライン52から、チャンバガス入口120を介して処理領域107に提供される。

【0062】図8に再び戻り、次のステップは、ブロック805に示されるように、チャンバ圧力を調整することである。処理領域107内の圧力をモニターする1つの方法は、キャパシタンスマノメータを用いることである。処理領域107内に要望された圧力は、スロットルバルブ/ゲートバルブ組立体135の位置を調整することによって得られ、処理領域107とポンプ140及び150の間のコンダクタンスを増加又は低減する。1T~4Tの範囲の圧力、好ましくは約1.8T~3Tの範囲の圧力で、有利な結果が得られる。

【0063】次は、ブロック806に示されるように、反応種をチャンバ堆積物と反応させこれを取り除くことである。処理領域107に進入する反応種は、処理領域107の

中に形成される堆積物と結合して、揮発性の化合物を形成し、これがチャンバから排気される。図7のチャンバ100等の代表的なプラズマ励起堆積リアクタでは、コイル112によって輪郭を描かれる領域の中に、主に堆積物が形成される傾向があるだろう。処理領域107内に行われる堆積プロセスのコイル112の影響の結果、堆積物基板支持体上面126上に最も集中し、基板支持体125及び支持アーム130の側に沿って生じると考えられる。また、チャンバリッド110とチャンバ本体105の内面の上に、堆積物が形成される。処理領域107に進入する反応種は、堆積物と反応して、揮発性の化合物を形成し、処理領域107から排気される。

【0064】次は、ブロック807に示されるように、ガス流動を修正するかどうかの決定である。

【0065】別の不活性ガス又はクリーニングガスの流れが要望される場合には、ブロック802に戻る。ブロック802では、希釈を用いるケースの場合のように、クリーニングガス希釈を続けるかどうか決定し、または、希釈されないクリーニングガスを用いたケースの場合のように実行するだろう。クリーニングガス希釈以外の場合にブロック803に従ってなされる調整に基づき、又は、クリーニングガス希釈の場合にブロック811及び812に従ってなされる調整に基づき、この調整された流量で処理チャンバ（ブロック804）に、反応種を提供する。修正されたガス流動は前述の通り使用され、また、チャンバ圧力は、ブロック805で調整することができる。次に、ブロック806に従って反応種が堆積物と反応しこれを取り除くことができる。もう一度、そして、必要な回数だけ、ブロック807の決定を行って、ブロック802に戻り、そして、異なるガス流動とチャンバ圧力に対して上記のステップを繰り返す。

【0066】ブロック802~ブロック807の繰返しの数が完了した後、あるいはガス流量調整が要望されない場合、ブロック808である次のブロックまで進む。

【0067】次のステップは、ブロック808に示されるように、チャンバ圧力が修正されるかどうかについて決定することである。このステップは、チャンバ100内に異なる圧力を与えつつ、同じガス流動がチャンバに提供されるの可能にする。例えば、ブロック807でガス流動を修正しないと決定し、続いて、ブロック808でチャンバ圧力を修正すると決定することにより、以前に決定した反応種の組成となり、あるいは、異なる圧力状態の下で処理領域107に与えられる反応種/不活性ガス混合物となる。例えば、様々な異なるガス流動組合わせを提供しつつ、チャンバを定圧で維持できる（例えば、ブロック805で圧力調整がなされないが、他方でブロック807ではガス流動を調整することを選択する場合）。あるいは、ブロック807でガス流動修正を選択しないがブロック808でチャンバ圧力修正を選択したケースのように、一定のガス流量を維持しつつ、様々な圧力をチャンバ100に用

いることができる。また、多数の圧力と多数のガス流動組合わせを用いるクリーニング方法が予想される。上述の通り、圧力が高ければ一般に、ガスの平均自由行程が短くなり、圧力が低ければ一般に、ガスの平均自由行程が長くなる。例えば、堆積物が最も多くまた反応種と堆積物の間の反応が生じうる場合に、初期のクリーニングステップに高い圧力を用いてもよい。クリーニングが進行し、堆積物が減少すれば、滞在時間を増やすため、より低い圧力を用いることができるので、滞在時間が長い反応種と残留堆積物の間の反応の可能性が高められる。また、本発明の方法で考慮すべきは、クリーニングガスの希釈と低いチャンバ圧力を有利に用いて、滞在時間を増やして反応種の再結合を低減することにより、チャンバクリーニングプロセスを改良することである。

【0068】ブロック807~808に応じて提供された、望ましいガス流動と圧力の組合わせを行った後、次のステップは、ブロック809に示されるように、チャンバのシーズニングである。タンタル堆積チャンバに関して上記で説明したように、これらステップを行い、処理領域から残留クリーニングガス、反応種、そして、上述のクリーニングプロセスで生成する他の揮発性の化合物を取り除いた場合に、多くの堆積プロセスの質と信頼性は改良される。次の処理操作で窒化ケイ素の堆積が含まれる場合には、約1000オングストロームの窒化ケイ素の層が処理領域107内に堆積される。二酸化ケイ素、弗素ドーブのケイ酸塩ガラス(FSG)または他の低誘電率膜(すなわち4.0未満の誘電率を有する膜)、リンドーブのケイ酸塩ガラス(PSG)または他のプリメタルの誘電体膜の場合は、約1000オングストロームの二酸化ケイ素の層が処理領域107内に堆積する。

【0069】フローチャート800のブロック810は、チャンバ処理を再開することになる本発明の最後のステップを示す。処理の要求により、所望の場合に、ブロック800のクリーニングプロセスを繰り返してもよい。代表的な半導体製造プロセスのための代表的なクリーニングサイクルは、3~5枚の基板が処理された後、あるいは、チャンバ100内で処理された基板の上に約3 μ mの膜が堆積した後、チャンバをクリーニングすることを有する。

【0070】図8に関する上の記載は、本発明のより完全な理解を続けて提供するためのブロック線図800のステップを示す。当業者は、ステップの多くが同時に又はほぼ同時に行われてもよいことを理解するだろう。フローチャート800の中のその他の小さな逸脱も、本発明の範囲内である。例えば、クリーニングガス希釈を要望する場合に、クリーニングガスの流れを調整する前に不活性ガス流れを調整するように、ステップ811と812を逆に実行することができる。さらに、チャンバ圧力は、クリーニングガス希釈(ブロック802、811、812及び807)を用いるべきかどうかの決定の前に、調整されてもよい(ブロック805及び808)。

【0071】フローチャート800に示される本発明の方法は、以下の代表的な例を考慮することによって、よりよく理解されることができる。本発明の具体例の中に、処理チャンバは、一定の圧力に維持される一方、クリーニングガスは、本発明に従い、単独で、そしてその後不活性ガスと協働で、提供される。チャンバは、低誘電率(すなわち誘電率4.0未満)の堆積を含む処理操作のために用いることができるものである。このような膜は、弗素ドーブのケイ酸塩ガラス(FSG)である。処理チャンバ内に堆積物を形成する処理操作を行い、処理される最後のウエハを取り出した後に、3200Wのプラズマを遠隔プラズマ装置の中に点火することができる。マニュアル調整のマイクロ波発振器が使用される場合は、アルゴン等の不活性ガスを、プラズマ点火のために用いることができる。点火の後、遠隔プラズマ装置にクリーニングガスが提供され、反応種を発生する。この例では、NF₃が用いられ、そして、クリーニングガス希釈(ブロック802)は、プロセスのこの部分では用いられない。次に、ブロック803に従い、クリーニングガス流量が、要望された流量に調整される。この例では、NF₃は約1500sccmで提供される。NF₃が解離し、処理チャンバに反応種を提供する(ブロック804)ので、チャンバ圧力は、約3トールの定圧に維持される(ブロック805)。解離されたクリーニングガスによって提供される反応種は、チャンバ内に形成される堆積物と反応し、揮発性の化合物を形成し、これはチャンバから排気される(ブロック806)。この例では、反応種は、反応性の弗素であり、約1.2オングストローム/分~0.9オングストローム/分で、FSG堆積物を取り除く。3 μ mの堆積材料が蓄積された後、チャンバがクリーニングされるプロセスでは、このステップは75~100秒継続される。

【0072】この例での次のステップは、ブロック807に応じてのガス流れを修正し、ブロック802に応じてクリーニングガス希釈を用いることである。ブロック811と812に応じて、クリーニングガスと不活性ガスの流れは、完全又はほぼ完全な解離がアプリケーション72内で生じうるようなレベルで調整され維持される。この例では、クリーニングガスはNF₃、不活性ガスはアルゴンで、これらの比は1:1で与えられ、ここでは、Arを750sccmに調整しつつ、NF₃を750sccmに調整できる。あるいは、クリーニングガスと不活性ガスの比を2:1にすることによって有利な結果を得ることもできる。再び、実施例としてNF₃とArを用い、Arを500sccm提供しつつ、NF₃を1000sccm提供するように調整する。比が1:1の実施例と2:1の実施例の両方において、クリーニングガスがNF₃又は同様の解離エネルギーが必要なその他のガスである場合、アプリケーション72の中の全流量は、1500sccmであり、その場合、マグネトロン62からの出力が3500Wで使用される場合は、クリーニングガスは、完全又はほぼ完全に(即ち約99%)解離すると考えられる。

【0073】クリーニングガス（この例ではNF₃）が処理チャンバ内で解離して、反応種を提供する場合（ブロック804）は、チャンバ圧力は、約3トールの一定の圧力に維持される（ブロック805）。解離されたクリーニングガスによって提供される反応種は、チャンバ内に形成された堆積物と反応して揮発性の化合物を形成し、これはチャンバから排気される（ブロック806）。

【0074】次に、ブロック806に従って行われた堆積物の除去が完了した後、クリーニングガスと不活性ガスの流れをブロック807と802によって修正し、クリーニングガスと不活性ガスの別の組合わせを提供し、あるいは、単独でクリーニングガスを提供する。この特定の例に従えば、ブロック807と808に従ったガス流動とチャンバ圧力の修正は要望されない。これに替えて、ブロック809に従って、処理操作を再開する前に膜の層を堆積するより、チャンバのシーズニングが行われる。例えば、FSGを堆積するために用いられる処理装置で、約1000オングストロームのSiO₂の層を堆積してもよい。この特定の例では、ブロック810に従う次のステップは、処理チャンバでFSG堆積操作を再開することである。

【0075】本発明の特定の別の具体例では、クリーニング方法は、少なくとも2つの異なる圧力を使用し、クリーニングガスは単独で用い、また、クリーニングガスは不活性ガスによって希釈される。当初、堆積物の量が最も多いときは、高い圧力を用い、その後堆積物の量が減りチャンバ内に分散すれば、低圧のクリーニングへと続く。チャンバは、プリメタルの誘電体の堆積等の処理操作のために用いることができる。このような膜には、リンドープのシリコンガラス（PSG）がある。処理チャンバ内に堆積物を形成する処理操作を行い、処理される最後のウエハを取り出した後に、3200Wのプラズマを遠隔プラズマ装置の中に点火する。先に述べたように、マニュアルで調整されるマイクロ波発振器を使用する場合は、アルゴン等の不活性ガスを用いてプラズマを点火する。点火の後、反応種を発生させるためにクリーニングガスが遠隔プラズマ装置に提供される。この例では、NF₃を用い、クリーニングガスの希釈は、プロセスのこの部分では使用されない（ブロック802）。次に、ブロック803に従い、クリーニングのガス流量が、要望された流量に調整される。この例では、NF₃は約1500sccmで提供される。NF₃が処理チャンバ内で解離して反応種を与える場合（ブロック804）、チャンバ圧力は約3トールの一定の圧力で維持される（ブロック805）。解離されたクリーニングガスによって提供される反応種は、チャンバ内に形成された堆積物と反応して揮発性の化合物を生成し、これはチャンバから排気される（ブロック806）。

【0076】本発明のこの代表的な遠隔クリーニングプロセスの次のステップは、ブロック807に従ってガス流れを修正し、ブロック802に従ってクリーニングガス希

釈を用いることである。ブロック811と812に応じて、クリーニングガス流れと不活性ガス流れが調整される。この例では、クリーニングガスがNF₃、不活性ガスがアルゴンであり、NF₃が750sccm、Arが750sccmであるので、ガスは1:1の比で提供される。あるいは、クリーニングガスと不活性ガスの比を2:1で提供することによってより良いクリーニング均一性を得ることができ、これは、NF₃を1000sccmとArを500sccm、好ましくはNF₃を1500sccmとArを750sccmで与えるようガス流れを調整する場合がある。前の例の場合のように、クリーニングガスが完全又はほぼ完全に解離されるレベルで、アプリケーション72の中の全流れとマイクロ波電力が維持される。

【0077】クリーニングガスと不活性ガスの混合物が処理チャンバ内で解離し反応種を提供すれば（ブロック804）、チャンバ圧力は約1.8トールの圧力に低減される（ブロック805）。反応種は、圧力が低ければ滞在時間が長くなるので、チャンバから排気される揮発性の化合物を形成するためにチャンバ内に形成される残留堆積物と反応する確率を上げる（ブロック806）。

【0078】ブロック806に従って行われる堆積物の除去が終了した後、処理操作を再開する前にブロック809に従って膜の層を堆積することによって、チャンバはシーズニングされる。例えば、基板が領域107内に存在しない間、PSGの堆積のために用いられる処理装置の中で、約1000オングストロームのSiO₂の層を処理領域107内で堆積してもよい。次に、ブロック810に従い、処理チャンバ内で基板上へのPSG膜の堆積を再開する。

【0079】上記の特定の具体例に加えて、ブロック線図800のステップ群を連続反復する際、様々なガス流量とチャンバ圧力を使用し、あるいは修正してもよいことが予想される。また、ブロック線図800の方法をブロック線図300の方法で使用してもよいことが予想される。このような組み合わせの方法を例示する1つの結果は、ブロック線図800のガス混合とチャンバ圧力調整を、処理リアクタ10内に形成される多数の内部の領域に使用する場合である。

【0080】さて図9、10と11を参照すれば、図3に示される本発明の方法によって実現される有利なクリーニング速度とクリーニング均一性がよく理解できる。図9、10と11に例示される結果は、数枚の200mmウエハ上に堆積したSiO₂膜の初めの厚さと均一性を測定し、次いで、これらのウエハをチャンバ10内の異なるプロセス条件に曝露し、クリーニング速度と均一性について異なるプロセス条件の影響を決定することにより得られたものである。特定のクリーニングプロセス環境への曝露の後、膜厚及び均一性を再び測定し、最初の厚さ及び均一性と比較した。各グラフは、異なる変量を表しており、例えば、図9では様々なAr流量、図10では様々なNF₃流量、と図11では様々なチャンバ圧力を表す。

【0081】図9は、チャンバ圧力とNF₃流れを一定にし

つつ、アルゴン流量を上げた場合のクリーニング速度と均一性に対する影響を表す。2トールのチャンバ圧力と200sccmのNF3流量を維持しつつ、Ar流れを0から1000sccmに変えた。400sccmの流量では、約7500オングストローム/分という最も高いクリーニング速度と約11%の最も低い均一性が与えられた。Ar流量が400sccm以上に増加し、あるいは、NF3流れがAr流れの増加に伴い希釈されれば、均一性は35%にまで増加したが、クリーニング速度は約4100~5800オングストローム/分に低下した。Ar流れが400sccm以下に下れば、クリーニング速度は6000オングストローム/分~7500オングストローム/分に低下したが、クリーニング均一性は12%~25%に増加した。

【0082】図10は、クリーニング速度及び均一性に対するNF3流れの増加の影響を表す。チャンバ圧力を2トル、Ar流量を400sccmに維持しつつ、NF3流量を0sccmから400sccmまで上げた。NF3が200sccmでは、クリーニング速度は約7500オングストローム/分、クリーニング均一性は約10%であった。200sccmより高くなるようNF3流れを上げれば、クリーニング速度は約6000オングストローム/分に下がり、クリーニング均一性は約15%に上がった。200sccmより低くNF3流量を下げれば、クリーニング速度は約3000オングストローム/分まで下がったが、クリーニング均一性は20%~30%まで上がった。

【0083】図11は、一定のArとNF3流量に対して、クリーニング速度とクリーン均一性に対するチャンバ圧力の影響を表す。チャンバ圧力が2トルに対して、クリーン均一性は約10%であったが、クリーニング速度は約7500オングストローム/分であった。圧力が2トルより低くなれば、クリーニング均一性は緩やかに上昇するが、クリーニング速度は約3000オングストローム/分に下がった。圧力が2トルより高くなれば、均一性は20%を超えるが、クリーニング速度は約3000オングストローム/分にしかならない。クリーニング速度が高ければ、より高速のクリーンであることを示し、また、低いクリーニング均一性の値が低ければ、クリーニングラジカルがチャンバ内部全体に均一に適用されるので、チャンバ構成要素がオーバーエッチ及び損傷を与えられる可能性が低減されることを示す。このように、図9、10及び11で得られた例示される結果を検討すれば、アプリケーション72の中で励起され2:1の比でチャンバに提供されるAr/NF3混合物の圧力を2トルとして本発明の方法をチャンバ10に用いれば、あるいはArが200sccm、NF3が400sccm、マイクロ波電力が1400ワットの特定の具体例を用いれば、最高のクリーニング速度と最小の均一性を有する有利なクリーニングが実現される。

【0084】図12は、図7のチャンバ100と同様のチャンバ内で行われる試験で得られた代替結果を表す。この試験では、二酸化ケイ素膜が300mmのウエハの上に堆積さ

れ、初期の膜の厚さと均一性が測定された。ウエハは、次いでチャンバ100内に置かれ、図8の中に示されるクリーニング方法と同様のクリーニングプロセス条件に曝露された。クリーニングプロセスを行った後に、ウエハをチャンバから取り出し、膜の厚さと均一性を再び測定した。これらのクリーニング後の測定が、図12に例示される。図8の方法を、1:2のAr/NF3比で、チャンバ100内で行ったが、この具体例では、4500ワットのマイクロ波電力と3トールのチャンバ圧力で、750sccmのAr流れと1500sccmのNF3流れを用いた。図8の方法のこの特定の具体例では、4.34%のクリーニング均一性と、2000オングストローム/分のクリーニング速度が実現された。

【0085】発明の特定の具体例を示してきたが、更なる修正と改善を行うことは、当業者には可能であろう。従って、本発明は特定の形に限定されず、また特許請求の範囲は、本発明の本質及びその範囲から逸脱せずにその全ての修正をカバーするものであることが理解されることが要望される。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1は、本発明の処理システムの概略的な横断面図である。

【図2】図2は、遠隔プラズマアプリケーションキャビティの断面図である。

【図3】図3は、本発明の方法を例示するブロック線図である。

【図4】図4は、図1の拡大図Aである。

【図5】図5は、本発明の処理システムの概略的な横断面図である。

【図6】図6は、図4の拡大図Aである。

【図7】図7は、本発明の単一容量の処理チャンバ及び遠隔プラズマ装置の概略的横断面図である。

【図8】図8は、本発明の方法を例示するブロック線図である。

【図9】図9は、クリーニング速度とクリーニング均一性に対するアルゴンフローの影響を例示するグラフである。

【図10】図10は、クリーニング速度とクリーニング均一性に対するNF3フローの影響を例示するグラフである。

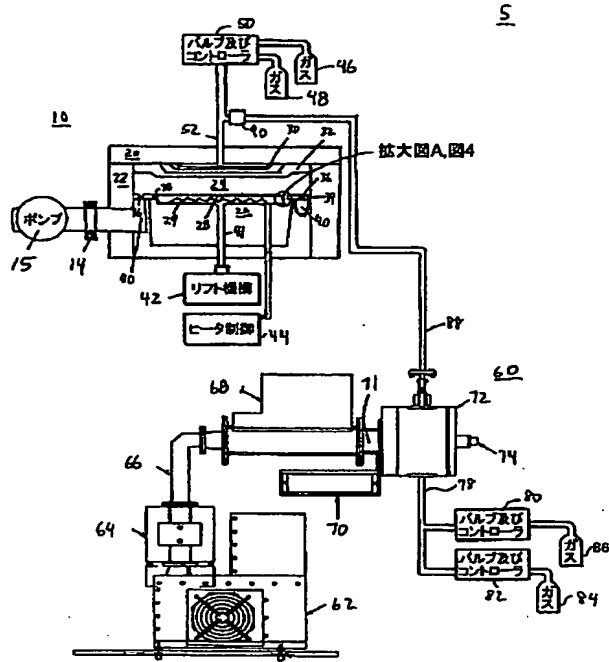
【図11】図11は、クリーニング速度と均一性に対するチャンバ圧力の影響を例示するグラフである。

【図12】図12は、本発明に従ったクリーニング方法を受けた300mmウエハの厚さマップである。

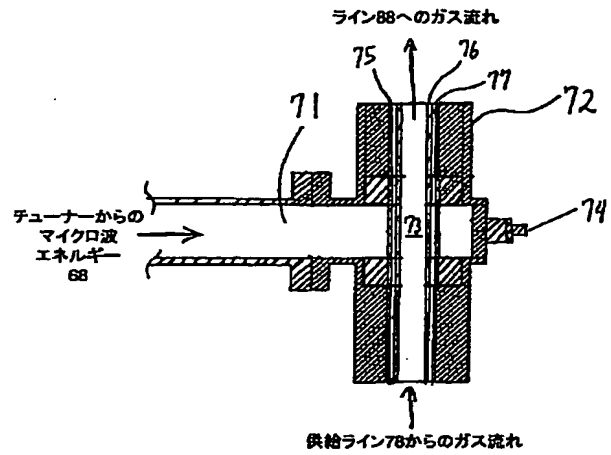
【符号の説明】

5...処理システム、10...処理チャンバ、20...リップ、22...本体、28...抵抗加熱基板支持体、29...抵抗ヒータ、32...シャワーヘッド、41...支持体シャフト、42...リフトメカニズム、44...ヒータ制御装置、60...プラズマジェネレータ。

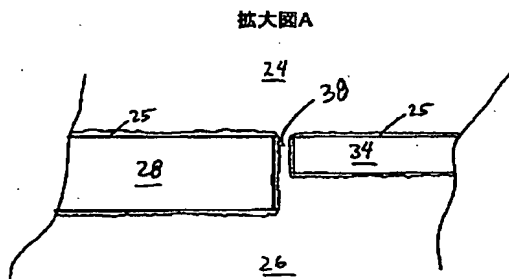
【図1】



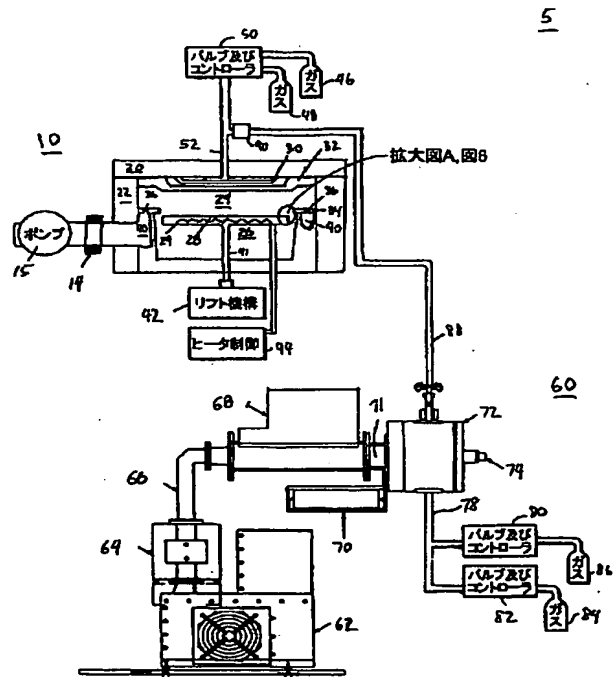
【図2】



【図4】

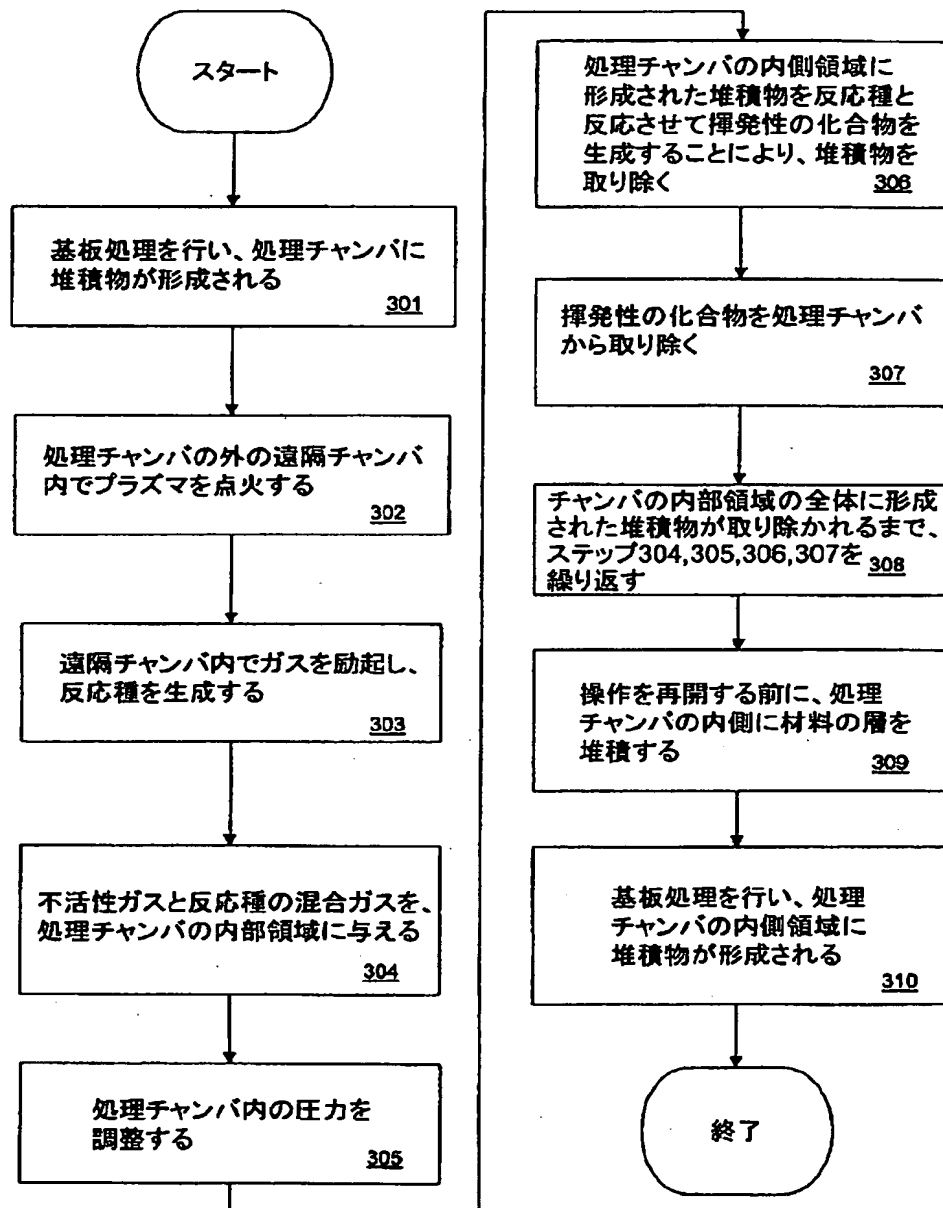


【図5】

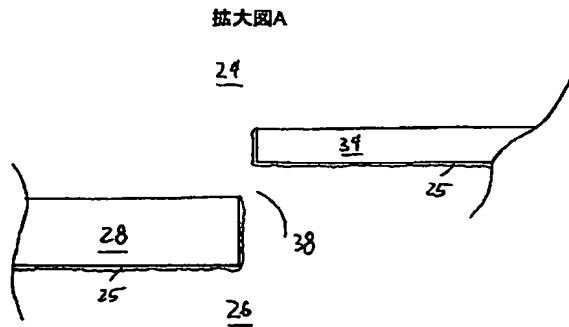


【図3】

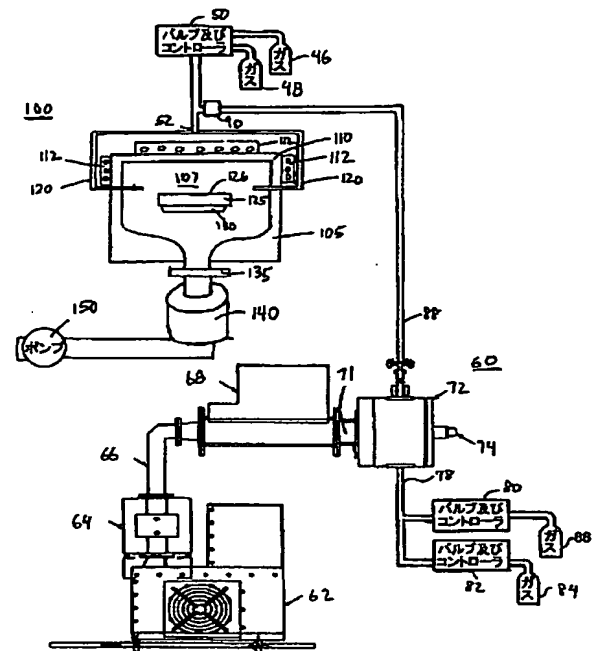
300



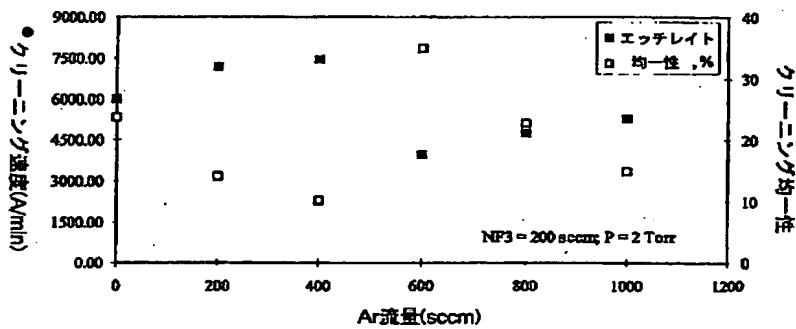
【図6】



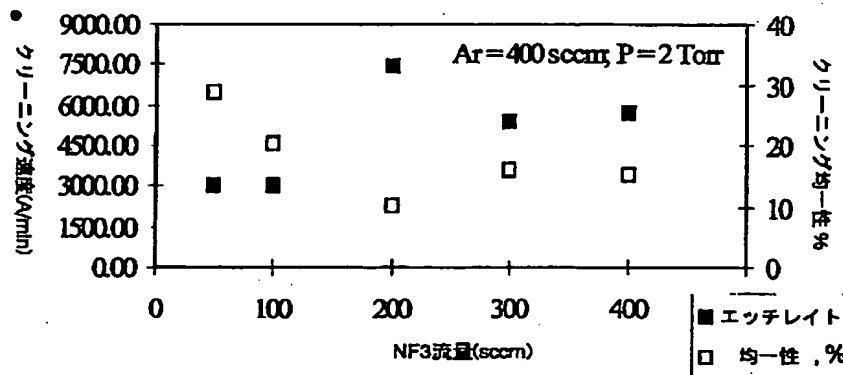
【図7】



【図9】

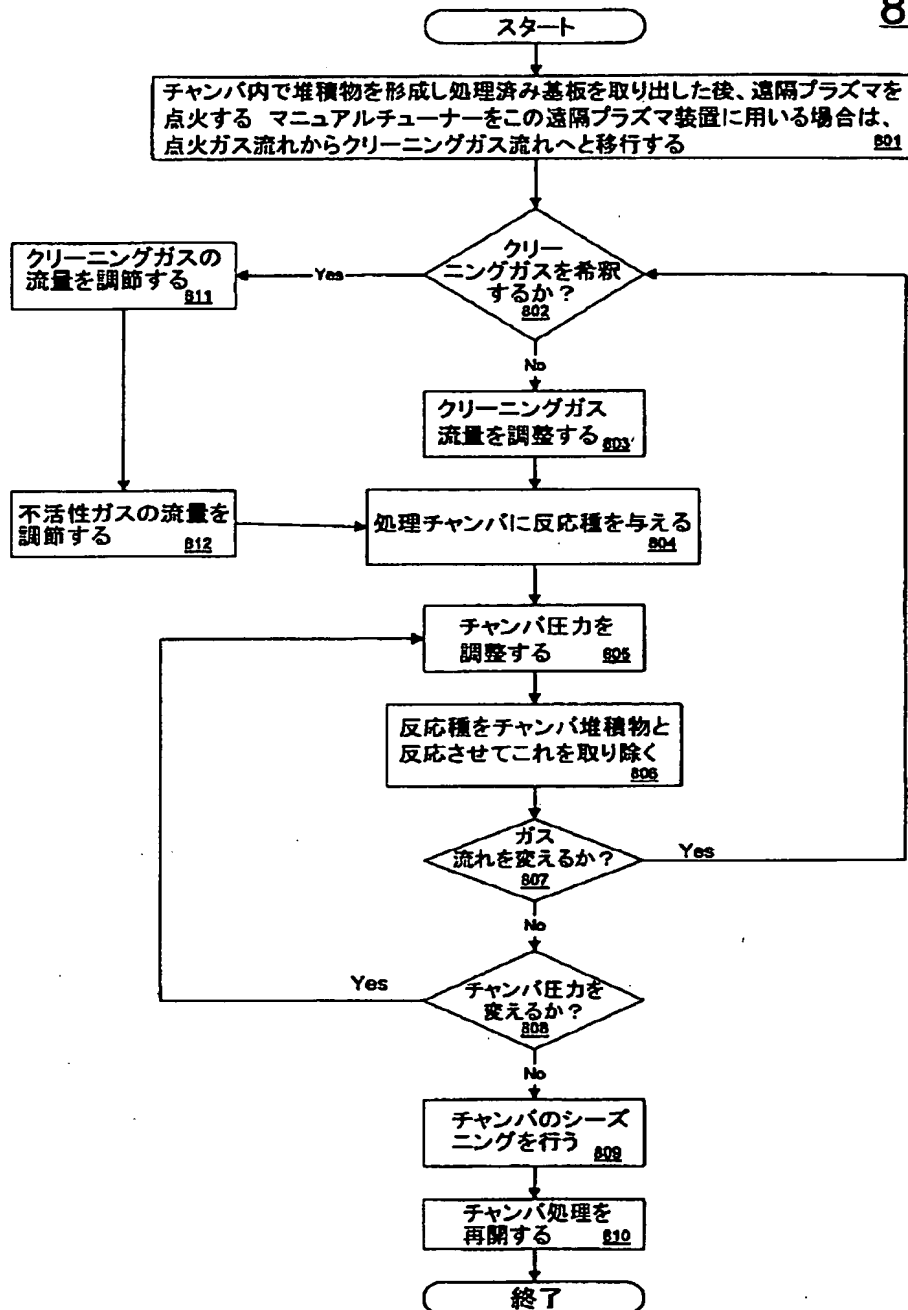


【図10】

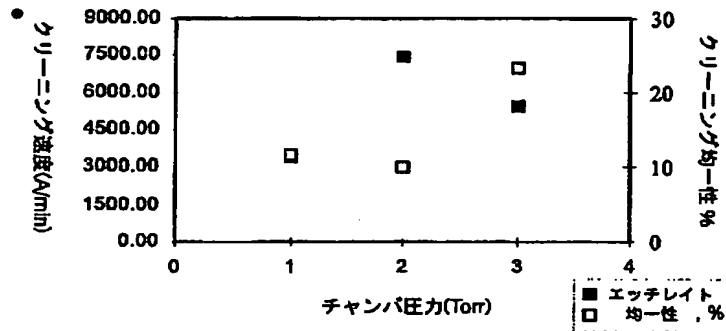


【図8】

800



【図11】



【図12】

Ar:NF3=1:2の場合におけるクリーニング速度と均一性

ナノメトリックス 二次元マップ



Cin rate = 2000 A/min
 Ar:NF3 = 2:1
 NF3 = 1500 sccm
 P = 4500 W

MEAN: 5974A
 ST Dev: 229.4A
 SI Dev: 4.34E
 UNIF: 8.42E
 MAX: 6946A
 MIN: 5520A
 RANGE: 1122A
 INTERVAL: 45.0A

Ar:NF3=1:2(750/1500sccm)では、クリーニング速度2000A/min 均一性4.5%を得た

フロントページの続き

(72)発明者 ラヴィ ラヤゴパラン
 アメリカ合衆国、 カリフォルニア州、
 サニーヴェイル、 アヤラ ドライブ
 1124、 ナンバー2

(72)発明者 パトリシア エム リウ
 アメリカ合衆国、 カリフォルニア州、
 サラトガ、 ベルグルーヴ サークル
 18813

(72)発明者 ブラヴィン ケイ ナーワンカン
 アメリカ合衆国、 カリフォルニア州、
 サニーヴェイル、 ウェイヴァリー スト
 リート 392

(72)発明者 ヒュエン ティ トラン
 アメリカ合衆国、 カリフォルニア州、
 サニーヴェイル、 カーニー テラス
 860

(72)発明者 バドマナバーン クリシュナラヤ
 アメリカ合衆国、 カリフォルニア州、
 サン フランシスコ、 デ ハロ ストリ
 ート 1118

(72)発明者 アラン アブラオ
 アメリカ合衆国、 カリフォルニア州、
 サン ノゼ、 オークモント ドライブ
 1134、 ナンバー7

(72)発明者 ティム キヤスパー
アメリカ合衆国, カリフォルニア州,
モンテ セレノ, メイズ アヴェニュー
16108

(72)発明者 タージット サヒン
アメリカ合衆国, カリフォルニア州,
クバティノ, チャドウィック プレイス
11110

(72)発明者 チャンーテ カオ
アメリカ合衆国, カリフォルニア州,
サニーヴェイル, スターブッシュ ドラ
イヴ 715

【外国語明細書】

1 Title of Invention

REMOTE PLASMA CLEANING METHOD FOR PROCESSING CHAMBERS

2 Claims

1. A method of cleaning from a processing chamber deposits formed on interior surfaces of the processing chamber wherein said processing chamber interior surfaces include a first region and a second region said second region being different from said first region, said method comprising the steps of:

- (a) dissociating a gas mixture outside said processing chamber to form reactive species, said gas mixture comprising an inert gas and a cleaning gas;
- (b) providing said reactive species to said processing chamber;
- (c) reacting said reactive species with said deposits in said processing chamber first region;
- (d) forming volatile compounds from said deposits formed in said processing chamber first region;
- (e) removing from said processing chamber said volatile compounds formed from deposits formed in said processing chamber first region;
- (f) increasing the fluid communication between said processing chamber first and second regions;
- (g) reacting said reactive species with said deposits in said processing chamber second region;
- (h) forming volatile compounds from said deposits formed in said processing chamber second region; and
- (i) removing from said processing chamber said volatile compounds formed from deposits formed in said processing chamber second region.

2. The method according to claim 1 wherein the ratio of said inert gas to said cleaning gas is about 2 to 1.

3. The method according to claim 1 wherein said step of dissociating a gas mixture outside said processing chamber to form reactive species is conducted in a microwave powered remote plasma apparatus.

4. The method of claim 1 wherein said step of reacting said reactive species with

deposits formed in said processing chamber first region is performed at a first pressure and said step of reacting said reactive species with deposits formed in said processing chamber second region is performed at a second pressure wherein said second pressure is different from said first pressure.

5. The method of claim 2 wherein said first gas is an inert gas and said second gas is a halogenated gas.
6. The method of claim 5 wherein said halogenated gas is NF_3 .
7. The method according to claim 3 wherein said microwave power causes more than 99% dissociation of said cleaning gas within said gas mixture.
8. The method of claim 4 wherein said first pressure is greater than said second pressure.
9. The method of claim 4 wherein said first pressure is about twice the second pressure.
10. The method of claim 4 wherein said first pressure is about 2 Torr.
11. A method of removing deposits formed in a processing chamber as a result of deposition operations performed on a substrate disposed within the processing chamber, the method comprising the steps of:
 - (a) activating a cleaning gas in a remote chamber separate from said processing chamber to form reactive species from said cleaning gas;
 - (b) providing an inert gas which mixes with said reactive species to form a gas mixture comprising reactive species;
 - (c) providing said gas mixture to said processing chamber while maintaining said processing chamber at a first pressure;
 - (d) while maintaining said processing chamber at said first pressure, reacting said reactive species with said deposits to form volatile compounds and thereafter removing from said processing chamber said

- volatile compounds formed at said first pressure;
- (e) providing said gas mixture comprising reactive species to said processing chamber while maintaining said processing chamber at a second pressure that is different from said first pressure;
 - (f) while maintaining said processing chamber at said second pressure, reacting said reactive species with said deposits to form volatile compounds and thereafter removing from said processing chamber said volatile compounds formed at said second pressure; and
 - (g) conducting processing operations in said processing chamber to form a film on interior surfaces of said processing chamber without a substrate disposed within said chamber.
12. A method according to claim 11 wherein said second pressure is lower than said first pressure.
13. A method according to claim 11 wherein said second pressure is about half of said first pressure.
14. A method according to claim 11 wherein the step of providing an inert gas which mixes with said reactive species to form a gas mixture comprising reactive species further comprises an inert gas flow rate that is twice the flow rate of the cleaning gas used to form reactive species.
15. A method according to claim 11 further comprising the step of providing said gas mixture comprising reactive species to a first processing region of said processing chamber while maintaining said first pressure and providing said gas mixture comprising reactive species to a second processing region different from said first processing region while maintaining said second pressure in said processing chamber.
16. A method of removing deposits comprising Tantalum formed on interior surfaces of a processing chamber as a result of substrate processing operations conducted to deposit a film comprising Tantalum on a substrate, said processing chamber comprising a first processing region and a second processing region different

from said first processing region, the method comprising the steps of:

- (a) initiating a plasma in a remote chamber outside of said processing chamber;
- (b) activating said cleaning gas with said plasma to generate reactive species from said cleaning gas;
- (c) providing an inert gas that mixes with said reactive species forming a gas mixture comprising inert gas and reactive species;
- (d) providing said gas mixture to the first processing region within said processing chamber;
- (e) while maintaining said processing chamber at a first pressure, reacting said reactive species with said film comprising Tantalum within said first processing region to form volatile compounds;
- (f) removing said volatile compounds formed within said first processing region from said processing chamber;
- (g) increasing the fluid communication between said first and said second processing regions;
- (h) providing said gas mixture to a second processing region within said processing chamber;
- (i) while maintaining said processing chamber at a second pressure, reacting said reactive species with said film comprising Tantalum within said second processing region to form volatile compounds; and
- (j) removing said volatile compounds formed within said second processing region from said processing chamber.

17. The method according to claim 16 comprising the further step following step (j) of conducting processing operations in said processing chamber without a substrate present in said chamber to form a film comprising Tantalum on interior surfaces of said processing chamber wherein said processing operations are conducted after removing from said processing chamber said volatile compounds formed from said first and second processing regions.

18. The method according to claim 16 wherein said cleaning gas is a halogen.

19. The method according to claim 16 wherein said cleaning gas comprises fluorine.
20. The method according to claim 16 wherein said cleaning gas is NF_3 .
21. The method according to claim 16 wherein said inert gas is selected from the group consisting of Ar, Xe, Ne, He, and N_2 .

3 Detailed Description of Invention

BACKGROUND OF THE INVENTION

Field of the Invention

This application is a continuation-in-part of application serial number 08/893,922 entitled "Improved Cleaning Process" filed July 11, 1997 and commonly assigned to Applied Materials, Inc.

This invention relates generally to methods and apparatuses suitable for removing accumulated processing by-products and unwanted deposits within processing reactors. More particularly, this invention relates to a method for cleaning the internal components of a wafer processing apparatus after the deposition of Tantalum containing films, such as Tantalum Pentaoxide (Ta_2O_5). Additionally, the method described is suitable for removing deposits formed by other processes useful in the manufacture of semiconductor devices and flat panel displays.

Background of the Invention

The desire for greater capacity integrated circuits (ICs) on smaller sized devices has increased interest in replacing today's 64 megabit DRAM with memory devices in the range of 256 megabit, 1 gigabit and higher. This need for increased capacity on the same or smaller substrate footprint device makes it necessary to replace conventional dielectric films previously used in stacked capacitor formation, such as silicon dioxide (SiO_2), with dielectric films having higher dielectric constants. Capacitors containing high-dielectric constant materials, such as Ta_2O_5 , usually have much larger capacitance densities than standard SiO_2 - Si_3N_4 - SiO_2 stack capacitors making them the materials of choice in IC fabrication. High dielectric constant films allow smaller capacitor areas which in turn enable closer spacing of transistors and increased transistor density. One material of increasing interest for stack capacitor fabrication is Tantalum Pentaoxide which has a relative dielectric constant more than six times that of SiO_2 . Accompanying the increased and expanding use of this material is a need for improved in-situ methods of removing unwanted deposits which accumulate within the processing chamber after repeated deposition cycles.

An available cleaning method involves the utilization of a remote plasma generator to produce reactive species which are delivered to the processing chamber. U.S. Patent No. 5,449,411 issued September 12, 1995, to Hitachi describes a process for cleaning a vacuum chamber prior to the deposition of SiO_2 therein. A microwave plasma of process gases such as C_2F_6 , CF_4 , CHF_3 , CH_4 , F_2 , HF , Cl_2 or HCl is described. The patent further describes that the cleaning process can be improved by applying an R.F. electric field to electrodes in the chamber.

U.S. Patent 5,778,788 issued August 4, 1998, to Applied Komatsu Technology, describes a method for cleaning a deposition chamber that is used in fabricating electronic devices by activating a precursor gas using a high power microwave source of between about 3,000 to 12,000 Watts or a power density in the remote chamber of about 12,000 Watts/liter to 48,000 Watts/Liter. The patent further describes a minor carrier gas such as Argon, nitrogen, helium, hydrogen or oxygen may be used to transport the reactive species to the chamber, assist in the cleaning process, or help initiate and or stabilize the plasma in the deposition chamber. The patent also describes the use of a chamber based excitation source used to further excite the reactive species provided to the chamber.

Another problem confronting the semiconductor industry is the increased cost to obtain process gases coupled with the increased costs of disposing of the exhaust by-products created by process gases. The cleaning gas NF_3 is an illustrative example of this problem. Long recognized as a superior cleaning gas, the cost of purchasing NF_3 has steadily increased. What is needed is an improved remote plasma chamber cleaning process which utilizes cleaning gases more efficiently resulting in an overall decrease in gas consumption. The improved process should rely solely on remote microwave excitation sources without requiring chamber based excitation to produce an effective plasma or remove chamber deposits. The decreased gas consumption lowers gas supply cost, CFC generation and gas disposal cost. More specifically, the improved method should be capable of providing commercially viable cleaning rates for dielectric films such as Ta_2O_5 and other dielectric films.

Summary of the Invention

An embodiment of the present invention is a method of cleaning from a processing chamber deposits formed on interior surfaces of the processing chamber

wherein said processing chamber interior surfaces include a first region and a second region said second region being different from said first region, said method comprising the steps of: dissociating a gas mixture outside said processing chamber to form reactive species, said gas mixture comprising an inert gas and a cleaning gas; providing said reactive species to said processing chamber; reacting said reactive species with said deposits in said processing chamber first region; forming volatile compounds from said deposits formed in said processing chamber first region; removing from said processing chamber said volatile compounds formed from deposits formed in said processing chamber first region; increasing the fluid communication between said processing chamber first and second regions; reacting said reactive species with said deposits in said processing chamber second region; forming volatile compounds from said deposits formed in said processing chamber second region; and removing from said processing chamber said volatile compounds formed from deposits formed in said processing chamber second region.

Another embodiment of the present invention is a method of removing deposits formed in a processing chamber as a result of deposition operations performed on a substrate disposed within the processing chamber, the method comprising the steps of activating a cleaning gas in a remote chamber separate from said processing chamber to form reactive species from said cleaning gas; providing an inert gas which mixes with said reactive species to form a gas mixture comprising reactive species; providing said gas mixture to said processing chamber while maintaining said processing chamber at a first pressure; while maintaining said processing chamber at said first pressure, reacting said reactive species with said deposits to form volatile compounds and thereafter removing from said processing chamber said volatile compounds formed at said first pressure; providing said gas mixture comprising reactive species to said processing chamber while maintaining said processing chamber at a second pressure that is different from said first pressure; while maintaining said processing chamber at said second pressure, reacting said reactive species with said deposits to form volatile compounds and thereafter removing from said processing chamber said volatile compounds formed at said second pressure; and conducting processing operations in said processing chamber to form a film on interior surfaces of said processing chamber without a substrate disposed within said chamber.

Detailed Description of the Invention

The present invention is directed to a novel in-situ cleaning process for removal of accumulated processing by-products on interior surfaces of a processing chamber. The described embodiment uses a resistively heated CVD chamber. One example of this type of chamber is an xZ style single wafer processing chamber manufactured by Applied Materials, modified as described herein. The chamber described is part of a modular processing system which can be utilized for a wide variety of semiconductor processing technologies such as the thermal deposition of Tantalum Pentaoxide (Ta_2O_5). Although the description and embodiments which follow are described with relation to the deposition and cleaning of Ta_2O_5 comprising films, one skilled in the art will appreciate that the methods set forth in the present

invention are adaptable to commercially available processing systems and operations without departing from the scope of the present invention. In some instances, well known semiconductor processing equipment and methodology have not been described in order not to unnecessarily obscure the present invention.

Figure 1 is a schematic view of a processing system 5 of the present invention which contains processing chamber 10 and remote plasma generator 60. Processing chamber 10 is comprised of a lid 20 and chamber body 22 which together form an evacuable, temperature controlled processing environment. Lid 20 and chamber body 22 are typically made from rigid materials having good thermal characteristics. For example, chamber lid 20 and body 22 could be formed from aluminum.

In the representative embodiment shown in Figure 1, a resistively heated substrate support 28 is provided within chamber 10 to support a workpiece and provide the heat of reaction for a thermal deposition reaction such as, for example, the deposition of Ta_2O_5 by decomposition of Tantalum precursors such as $(Ta(OC_2H_5)_5)$ or TAETO and Tantalum Tetrathoxide Dimethylaminoethoxide $(Ta(OEt)_4(OCH_2CH_2N(Me)_2))$ or TAT-DMAE. Power provided to resistive heater 29 within substrate support 28 is adjusted by heater controller 44. Power to heater 29 is adjusted to provide adequate temperature for the desired processing operation to be performed within chamber 10. The vertical position of substrate support 28 within chamber 10 is controlled by lift mechanism 42. Support shaft 41 couples substrate support 28 to lift mechanism 42. The position of substrate support 28 within chamber 10 or spacing is the separation between the lower surface of showerhead 32 and the upper surface of substrate support 28. Spacing is measured in thousandths of an inch or mils with larger spacing indicating increasing separation between showerhead 32 and substrate support 28. Components within chamber 10 typically have a protective coating or are fabricated from durable materials which tolerate exposure to the relatively high temperatures and often caustic chemical environments used in the fabrication of electronic components. For example, showerhead 32 could be formed from aluminum. Graphite and ceramic compositions are often employed in the fabrication of substrate supports 28 and support shafts 41.

Pump 15 and throttle valve 14 are used in conjunction to evacuate chamber 10 and provide a pressure regulated environment within chamber 10. Pump 15 is in communication with pumping channel 40 located in the periphery of walls 22 and

encircling substrate support 28. Pumping plate 34 is provided with a plurality of apertures 36 which provide more uniform conduction and evacuation of chamber interior regions 24 and 26. Spacing 38 separates substrate support 28 from pumping plate 34. For the representative chamber 10 of Figure 1, spacing 38 is between about 0.112 inches and 0.088 inches. Thus, substrate support 28 and pumping plate 34 in effect divide the interior of chamber 10 into an upper interior region 24 and a lower interior region 26. Upper interior region 24 also includes showerhead 32 and gas distribution plate 30.

Processing gases are stored outside chamber 10 in gas supplies 46 and 48. Valve and controller 50 represents an electronic metering and control system such as a mass flow controller used to introduce gases into chamber 10. From valve and controller 50, gases from supplies 46 and 48 flow through chamber supply piping 52, lid 20, gas distribution plate 30 and showerhead 32 before entering interior chamber regions 24 and 26. Although shown using a single valve and controller 50, gas supplies 46 and 48 could also be controlled by independent valve and controller unit 50 depending upon the process desired within chamber 10.

Also illustrated in Figure 1 is remote plasma generating system 60 which is used to activate gases and provide the resulting reactive species to chamber interior regions 24 and 26. One advantage of a remote plasma generator 60 is that the generated plasma or reactive species created by remote plasma generator 60 may be used for cleaning or process applications within internal chamber processing regions 24 and 26 without subjecting internal chamber components such as substrate support 28, shower head 32, or pumping plate 34 to ion bombardment which usually results when RF energy is applied within interior processing regions 24 and 26 to create a plasma. Reactive species generated by remotely activated plasma are considered less damaging since they do not subject internal chamber components to ion bombardment.

Another advantage of a remote excitation cleaning method of the present invention over some chamber based excitation cleaning methods is that in a remote excitation cleaning method the chamber conditions, such as temperature, may be maintained at or near the conditions associated to the process to be conducted in the chamber. For example in a representative embodiment of the present invention where the chamber is used to deposit Ta_2O_5 at 475°C, remotely activated species may be

provided to the chamber at the same temperature thereby eliminating the extra time required to change chamber temperature between the deposition process and the remotely activated cleaning process.

Turning now to the schematic illustration of remote plasma generator 60 which appears in Figure 1, the components and operation of remote plasma apparatus 60 of the present invention can be better appreciated. Magnetron assembly 62 houses the magnetron tube, which produces the microwave energy. A representative magnetron tube 62 consists of a hot filament cylindrical cathode surrounded by an anode with a vane array. This anode/cathode assembly produces a strong magnetic field when it is supplied with DC power from a power supply. Electrons coming into contact with this magnetic field follow a circular path as they travel between the anode and the cathode. This circular motion induces voltage resonance, or microwaves, between the anode vanes. An antenna channels the microwaves from magnetron 62 to isolator 64 and wave guide 66. Isolator 64 absorbs and dissipates reflected power to prevent damage to magnetron 62. Wave guide 66 channels microwaves from isolator 64 into tuner 68.

Tuner 68 matches the impedance of magnetron 62 and microwave cavity 72 to achieve the minimum degree of reflected power by adjusting the vertical position of three tuning stubs located inside wave guide 66. Tuner 68 could be adjusted manually or automatically. If an automatic tuner is employed with tuner 68, a feedback signal can be provided to the magnetron power supply in order to continuously match the actual forward power to the setpoint. Auto tuner controller 70 controls the position of the tuning stubs within wave guide 66 to minimize reflected power. Auto tuner controller 70 also displays the position of the stubs as well as forward and reflected power readings.

If a manual tuner is used, the positions of the stubs could be set manually and adjusted as needed to minimize reflected power. Although more expensive than manual tuner controllers, automatic tuner controllers can strike and sustain a plasma with a cleaning gas such as, for example, NF₃. Since it is more difficult to strike and sustain a plasma with only a cleaning gas generally an automatic tuner controller is required. With manual tuners, an extra plasma initiation step may be required where an inert gas is flowed through the remote apparatus and the plasma struck. Once the plasma is formed in the applicator with an inert gas, the cleaning gas is introduced.

Finally, the flow rate of the cleaning gas is increased to the desired flow condition while the inert gas flow is decreased until the desired gas flow or gas composition is obtained.

Turning now to Figure 2 which shows a cross section of microwave applicator cavity 72 where gases from supply line 78 are exposed to microwave energy from magnetron 62. Applicator 72 has a cylindrically shaped sapphire tube 76 located within another cylindrically shaped quartz tube 75. In order to prevent overheating and damage to tubes 75 and 76, cooling water is provided to cooling water channel 77 which separates tubes 75 and 76. Microwave energy exiting tuner 68 travels through microwave channel 71 which is coupled to applicator 72 and positioned such that exiting microwaves are directed towards tubes 75 and 76. Activation volume 73 is formed by the intersection of the cross section of channel 71 and sapphire tube 76. For example, activation volume 73 is about 4.733×10^{-3} liters in an embodiment where microwave channel 71 has a rectangular cross section with a height of about 3.4 inches and a width of about 1.7 inches while tube 76 has an inner diameter of 1.04 inches. Representative microwave power settings of between about 1400 - 3200 Watts result in a power density of between 295,800 W/L to 676,100 W/L within activation volume 73. The power density is scalable and will vary depending on specific geometry of the system and the microwave power utilized. Although described as rectangular and cylindrical, one of ordinary skill in the art will appreciate that other shapes can be employed in microwave channel 71 as well as tubes 75 and 76. Although described as fabricated from sapphire and quartz respectively, tubes 76 and 75 may also be formed from other suitable materials capable of sustained exposure to microwave energy. Additionally, inner tube 76 should be inert to the gases provided from supply line 78.

Gas or gases supplied via gas supply line 78 enter water cooled sapphire tube 76 within microwave applicator 72. The gas or gases subjected to the microwave energy ionizes producing reactive species which can then be used in cleaning and processing operations within processing chamber 10. For example, one such cleaning gas is NF_3 which can be used to supply reactive fluorine for cleaning processing chamber interior regions 24 and 26 when a substrate is not present in chamber 10. The microwave power level is one limit on the amount of reactive species created. For example, a microwave power level of about 3500 W is capable of completely

dissociating about 1700 sccm of NF_3 . Gas flows above 1700 sccm may result in incomplete cleaning gas dissociation. An optical plasma sensor 74 detects the existence of plasma within cavity 72. Reactive species generated within microwave applicator cavity 72 are supplied to chamber 10 via chamber supply line 88.

Referring again to Figure 1, reactive species within chamber supply line 88 pass control valve 90 which could be an on/off valve or part of a diverter valve system. Employing a diverter in valve 90 allows for the continued operation of remote plasma generator while not requiring that reactive species be provided to chamber 10. Once past control valve 90, reactive species from remote plasma generator 60 flow through gas supply line 52, lid 20, gas distribution plate 30 and showerhead 32 before entering chamber interior regions 24 and 26.

Gases to be dissociated in remote plasma generator 60 are stored in gas supplies 86 and 84. Valve and control mechanisms 80 and 82 represent electronic flow control units for gas supplies 86 and 84 respectfully. The output setpoint of valve and flow control mechanisms 80 and 82 is determined by the user and the resulting gas flow output is provided to microwave applicator cavity 72 via supply piping 78. In accordance with the present invention, gas supply 84 could be a source of cleaning gas to be dissociated into reactive species for the removal of deposits formed within chamber 10. Although the present embodiment will be described with respect to the use of NF_3 , the reactive gas or cleaning gas may be selected from a wide variety of halogens and halogen compounds. For example, the reactive gas may be chlorine, fluorine or compounds thereof, e.g. NF_3 , CF_4 , SF_6 , C_2F_6 , CCl_4 , C_2Cl_6 . Reactive gas selection will depend upon the material to be removed. For example, reactive fluorine may be used to remove or clean accumulations of Ta_2O_5 as set forth in a representative embodiment of the present invention.

Also in accordance with the present invention, gas supply 86 is a source of inert gas with a two fold purpose. For those microwave generator apparatus 60 having a manual tuner 60, an inert gas is used to initiate the plasma within microwave applicator cavity 72. Second, in accordance with the ratios described below, the inert gas is flowed concurrently with the reactive gas in order to prevent reactive species recombination thereby increasing the number of reactive species which reach chamber 10. The addition of an inert gas also increases the residence time of those reactive species within chamber 10. Although the ratio between the inert gas and the cleaning

or reactive gas is described in relation to flow rates, the ratio of cleaning gas to inert gas could also be determined by any other means to describe the relative amounts of each gas provided to chamber 10.

Although gas supply 78 is illustrated in Figures 1, 5 and 7 as flowing inert gas through applicator 72, it is to be understood that the inert gas could instead be provided to the flow of reactive species at supply line 88. Providing the inert gas into the flow of reactive species down stream of applicator 72 has the additional advantage of increasing the amount of power applied to the cleaning gas flow within applicator 72 since only the cleaning gas flows through applicator 72.

The present invention can be carried out in a processing chamber modified to operate in conjunction with a remote plasma generating source as illustrated in Figure 1. Figure 3 contains block diagram 300 which sets forth the novel cleaning process of the present invention. The remote plasma cleaning process is set forth in blocks 302 - 308 of Figure 3. For purposes of illustration, the method of the present invention will be described as implemented for a processing system similar to processing system 5 of Figure 1. Accordingly, reference numbers and components shown in Figure 1 will be used in the description which follows.

The first step of the present invention as set forth in block 301 is to conduct processing operations which results in the formation of deposits within a processing chamber. In this illustration, the processing operation described is for the thermal deposition of tantalum pentaoxide by mixing a tantalum precursor with an oxidizing agent at approximately 450°C. A substrate is placed on resistively heated substrate support and heater controller 44 adjusts the power provided heater 29 to maintain the substrate at an appropriate processing temperature of about 450°C. Lift mechanism 42 positions substrate support 28 and the wafer thereupon in chamber 10 relative to showerhead 32 to a spacing of, for example, 400 mils. Gas supplies 46 and 48 of Figure 1 contain a oxidizing gas such as oxygen or nitrous oxide and a tantalum precursor such as TAT-DMAE or TAETO. An inert gas such as N₂ may be employed as a carrier gas for the Tantalum precursor. Valve and controller mechanism 50 mixes and adjusts the flow rate of the tantalum and oxidizing gases and delivers them to chamber 10. The temperature of the substrate positioned on support 28 is sufficient to form tantalum pentaoxide from the incoming gas stream.

Some processes necessitate cleaning after each substrate is processed. Other processes tolerate periodic cleaning after a consecutive series of processes sequences, or after the deposition of a specified film thickness. One example of periodic cleaning is the deposition of Ta_2O_5 where a series of substrates are processed where each substrate receives about 100 angstroms (Å) of Ta_2O_5 film. After a number of substrates have been processed in this manner, the chamber is cleaned after the last substrate is removed from the chamber. A typical processing cycle for Ta_2O_5 is 500 wafers each with 100 angstroms (Å) or, alternatively, cleaning the chamber once for every 1 micron of film deposited.

Chamber 10, like other deposition chambers, are designed to preferentially deposit film on substrates positioned within the chamber. Deposition will also occur on other surfaces within interior regions 24 and 26 with sufficient temperature to react the process gases. In a resistively heated deposition chamber such as chamber 10 which has no means other than thermal energy for activation or to drive reactions, deposition is expected on those surfaces heated because of proximity to resistively heated substrate support such as the lower surface of showerhead 32, the upper surface of pumping plate 34 and walls 32 surrounding first interior region 24. Since substrate support 34 is larger than the substrate being processed, deposition will also occur on the outer periphery of the upper surface of substrate support 34 not covered by the wafer being processed. In a periodic cleaning process cycle, accumulations vary according to the number of wafers processes and the film thickness deposited on each wafer.

Figure 4 illustrates view A of Figure 1 which is an enlarged view of the edges of pumping plate 34 and substrate support 28 separated by spacing 38 after the deposition process described above has taken place. Generally, Figure 4 is representative of the chamber specific accumulations which can occur. In a representative periodic clean process, for example the deposition of Ta_2O_5 , wafers are processed in series of 100 with each wafer receiving a 100 Å layer of Ta_2O_5 . Such a processing cycle results in the highest accumulations, about 200 Å, on exposed areas of and the edges of pumping plate 34 nearest to substrate support 28. The thickness of the accumulation on other chamber components varies according to the temperature of the component and the degree of exposure to process gases.

The apparent division of chamber 10 into interior regions 24 and 26 by pumping plate 34 and substrate support 28 is illustrative of the obstruction of certain chamber internal regions by the interrelation of internal chamber components. Thus, the narrow spacing 38 between pumping plate 34 and substrate support 28 results in interior regions 24 and 26. The narrow spacing 38 is an area of reduced fluid communication between interior regions 24 and 26. Narrow spacing 38 is representative of an interference which occurs within processing chamber 10 such that the reaction conditions interior to the chamber beyond the preferred deposition region 24 will be dissimilar. Obstructions and restrictions like spacing 38 are not limited to resistively heated chambers such as chamber 10 but also found in other processing chambers as well. Examples from other processing apparatus where obstructions form different regions within a processing area include: portions of the horizontal position mechanism of a horizontal feed tube reactor are obstructed by the quartz boat used within the reactor so that the manner in which a quartz wafer boat utilized in a tube reactor obstructs those portions of the tube blocked by the apparatus which moves the boat; shadow rings used in some etch processes have surfaces which are not exposed to reactant gases and conversely surfaces which are exposed to and may accumulate the etched material; and substrate handling systems may result in lift mechanisms which can obstruct or otherwise restrict portions of a processing chamber..

Thus, in the specific embodiment of Figure 1, chamber 10 is divided into first interior region 24 and second interior region 26. As a result of spacing 38 with support 28 nearly in plane with pumping plate 34, the effective chamber volume of first interior region 24 is approximately 0.6402 L.

Continuing with flow diagram 300 of Figure 3 and as set forth in block 302, initiate a plasma within a remote plasma generator located outside of the processing chamber while there is no substrate in chamber 10. As described above, a plasma initiating gas would be utilized in a remote plasma system 60 having a manual tuner controller. In the case of an remote plasma system 60 having an automatic tuner controller, step 302 is not required since a sustainable plasma may be initiated directly from the selected cleaning gas. The plasma initiating gas may be any of the Group VIII gases, such as for example, He, Ne, Xe, and Ar, or an inert gas such as N₂, or other gas suitable for plasma initiation. Here, inert gas or plasma initiating gas refers

to those gases which do not appreciably dissociate when exposed to the microwave energy at the power levels described. In a specific embodiment, gas supply 86 contains Ar and valve and control mechanism 80 adjusts the flow of Ar to about 600 standard cubic centimeters per minute (sccm) which flows through supply line 76 into microwave applicator cavity 72.

Inside applicator cavity 72 the gas stream passes through a water cooled applicator tube where it is exposed to microwave energy levels of at least 100 W and preferably between about 1400 Watts and 3200 Watts generated by magnetron assembly 62. A representative microwave energy level suitable for a chamber 10 of Figure 1 and the gas flows described is about 1400 Watts. In an embodiment where Ar is used to initiate a plasma, microwave energy passes through the sapphire tube and an Ar plasma is created within microwave applicator cavity 72. The plasma produces high energy or internally hot Ar which flows into remote plasma supply line 88, control valve 90, gas supply line 52 and into chamber 10. Chamber 10 is maintained at about 2.0 Torr while plasma is established in microwave applicator cavity 72. In those systems with a manual tuner, a typical time to initiate a remote plasma using an inert gas such as Ar and obtain a stable high energy Ar flow to chamber 10 is about 10 seconds or less.

Next, as set forth in block 303, activate a gas in the remote chamber to form reactive species. Gas supply 84 could contain a halogen bearing gas such as Cl_2 , HCl, ClF_3 , NF_3 , SF_6 , F_2 and HF. In the case of a remote apparatus 60 having an automatic tuner, steps 302 and 303 may be executed together since the gas to be activated could also be used to initiate the plasma. While maintaining the plasma within applicator 72, the flow rate of the gas to be activated is provided by valve and controller mechanism 82 which allows gas to flow through supply line 78 into microwave applicator cavity 72. Inside applicator cavity 72 the gas stream passes through the water cooled sapphire applicator tube where the cleaning gas stream is exposed to microwave energy generated by magnetron assembly 62 and the initiated plasma. A representative microwave energy level is about 1400 Watts. In an embodiment where NF_3 is used as a cleaning gas, dissociation within applicator cavity 72 produces reactive F, some N_2 , and trace amounts of NF and F_2 . Using NF_3 has particular advantages such as its low dissociation energy and its production of multiple reactive fluorine species from each individual NF_3 molecule.

Next, as set forth in block 304, provide a mixture of inert gas and reactive species to an interior region of the processing chamber. Since microwave application cavity 72 is located remote to chamber 10, reactive species generated by remote plasma system 60 flow some distance along chamber supply line 88 to reach chamber 10. As a result, reactive species produced by dissociation with applicator cavity 72 could collide and recombine while flowing to chamber 10. Instead of providing reactive species to remove deposits formed within chamber 10, recombined and less reactive gases are provided to chamber 10. In an embodiment where NF_3 is activated in applicator 72, reactive F may recombine and instead provide F_2 and NF_2 to chamber 10. Thus, recombination of the reactive species before chamber 10 reduces the efficiency of remote plasma generating system 60 to provide reactive species into chamber interior regions 24 and 26. Providing an inert gas with the reactive species increases the probability that molecular collisions enroute to chamber 10 will be between reactive species and inert gas thereby reducing the probability of reactive species recombination.

In a representative embodiment where Ar is the inert gas and NF_3 is the cleaning gas, the respective flows rates could be adjusted to about 200 sccm NF_3 and about 400 sccm Ar. Maintaining about a 2:1 ratio between the inert gas and the reactive gas reduces the probability that reactive species produced by the reactive gas dissociation will recombine. The optimal inert gas to reactive gas ratio may also vary based on the characteristics of the specific remote plasma generator utilized and the type of reactive gas employed. Advantageous results have been achieved when the inert gas to reactive gas ratio is maintained within about 25% of the 2:1 ratio described above.

Next, as set forth in block 305, is to adjust the pressure within the processing chamber. Generally, an aspect of chamber pressure is that higher pressure tends to decrease residence time of the reactive species within the chamber. However, when cleaning initially begins within region 24 the highest amounts of deposits are present. Even though the activated species have a shorter residence time and mean free path, the likelihood of activated species reacting with and removing deposits is high. It is believed that lower pressures, on the other hand, tend to lengthen the mean free path and residence time thereby allowing dispersion of the reactive species across the interior region of the chamber. In a specific embodiment of the present invention, a

chamber pressure of about 2.0 Torr results in cleaning rates which are higher on the substrate support 28 or central portion of the chamber than on walls 22 or outer portion of the chamber.

Next, as set forth in block 306, is to remove deposits formed on interior regions of the processing chamber. Removing the deposits formed on the interior chamber surfaces or cleaning the chamber is accomplished by reacting the reactive species with the deposited film on the chamber surface to form a volatile compound. For example, in a chamber used for Tantalum Pentaoxide deposition such as the chamber 10 of Figure 1, NF_3 can be remotely dissociated as described above to form reactive fluorine. The reactive fluorine then reacts with and removes the Tantalum Pentaoxide formed within the interior of chamber 10. Referring to chamber 10 illustrated in Figure 1, most of the reactive species provided to chamber 10 will react with deposits formed within interior chamber region 24. The reactive species remain mostly in the effective volume of interior region 24 because of the narrow spacing 38 between substrate support 28 and pumping plate 34. Some reactive species will interact with the tantalum pentaoxide deposits formed on the opposing edges and lower surfaces of substrate support 28 and pumping plate 34. Generally, most of the deposits removed will be those formed on surfaces within interior region 24. For example in chamber 10 of Figure 1, deposits formed on the lower surface of showerhead 32 and the upper surfaces of pumping plate 34 and substrate support 28 would react with the reactive species to form volatile compounds.

The likely deposits to be removed can be better appreciated by referring to Figure 4 which illustrates the enlarged view A of Figure 1. Figure 4 shows that portion of the chamber where pumping plate 34 and substrate support 28 are separated by spacing 38. Because of their relative positions and the chamber design, spacing 38 is at a minimum when pumping plate 34 and substrate support 28 are directly adjacent to each other or in the deposition position as shown in Figures 1 and 4. For a substrate support 28 in a position directly adjacent to pumping plate 34 as shown in Figures 1 and 4, spacing 38 is on the order of 0.088 and 0.112 inches. Reactive species introduced into chamber region 24 would easily contact and react with deposits 25 formed on the top surfaces of pumping plate 34 and substrate support 28. To a certain extent reactive species introduced within region 24 are hindered from entering region 26 because of spacing 38. As a result, chamber interior region 24

which contains the majority of deposits to be removed is the first region cleaned. During the first cleaning cycle most of the cleaning occurs in the first region 24.

Returning to flow diagram 300 of Figure 3 and as set forth in block 307, the volatile compounds are removed from the processing chamber. As the reactive fluorine species react with the tantalum pentaoxide deposits to form volatile compounds, those compounds are exhausted from the interior regions of chamber 10 via pump 15. This process continues until the deposits formed within processing region 24 have been removed. Typical removal rates for reactive species generated from NF_3 with the 2:1 inert gas/reactive gas ratio described above is about 1 micron of tantalum pentaoxide per minute.

In a specific embodiment of the present invention, the first series of steps 304 through 307 represent providing an advantageous inert gas - cleaning gas mixture to a small volume processing region and a high pressure. For example, the small volume processing region could be the volume of region 24 and the high pressure could be about 2 Torr. One skilled in the art will appreciate that blocks 304, 305, 306 and 307 have been shown and described serially only for clarity in explaining the method of the present invention. In practicing the present invention, one skilled in the art could perform the steps described in blocks 304, 305, 306 and 307 in a different order or nearly simultaneously.

The next step, as set forth in block 308, is to repeat steps 304, 305, 306 and 307 until deposits formed on all interior chamber regions have been removed. This step takes into account restrictions caused by the relative positions of internal chamber components and the relationship between chamber pressure and reactive species. In the first series of steps 304, 305, 306 and 307, deposits were removed primarily from interior chamber region 24. In the second series of steps 304, 305, 306 and 307, reactive species are provided to and deposits are removed from another processing region or, alternatively, a series of processing regions.

In the representative embodiment of chamber 10 illustrated in Figure 5, substrate support 28 has been repositioned so as to more easily allow remotely activated species into another interior region. Put another way, substrate support 28 is repositioned to increase the fluid communication between processing regions 24 and 26. In this way, reactive species entering region 24 can more easily access region 26 and react with deposits formed therein. In this representative embodiment, the interior

region refers to interior regions 24 and 26. Although illustrated with the movement of support 28, other chambers will have other components alter position relative to one another in order to increase fluid communication between first and second or second and subsequent processing regions.

Turning now to Figure 5 which shows the processing system 5 of Figure 1 in which steps 301 through 307 above have been conducted. Chamber 10 of Figure 5 also illustrates the placement of internal components to provide increased fluid communication to an additional processing region. In Figure 5, resistively heated substrate support 28 in a position below pumping plate 34 which effectively increases spacing 38 which in turn leads to increased fluid communication between region 24 and region 26. As a result, reactive species entering region 24 more easily flow into region 26. For example, if the spacing of substrate support 28 in Figure 1 is about 400 mils, the spacing in Figure 5 is about 550 mils. Processing system 5 of Figure 5 is otherwise similarly configured to processing system 5 of Figure 1. As such, similar components will be referred to by the same reference numbers.

Referring now to Figure 6, which is enlarged view A of Figure 5, the effect of processing steps 301 through 307 as well as the enlarged spacing 38 can be better appreciated. Figures 5 and 6 illustrate substrate support 28 in a lowered position below the plane of pumping plate 34. Spacing 38 is considerably larger compared to the spacing 38 represented in when substrate support 28 and pumping plate 34 were in nearly the same horizontal plane as in Figures 1 and 4. Increased spacing 38 of Figures 5 and 6 allows remotely generated reactive species to be transported into lower chamber interior region 26 to effect the removal of deposits formed therein. Thus, with substrate support 28 in a lowered position, the effective volume of chamber 10 is now the full volume of both internal chamber regions 24 and 26 since spacing 38 is sufficiently large so as not to restrict reactive species introduced into the chamber from each interior region of the chamber. Also shown in Figure 6 is the removal of deposits 25 from the upper surfaces of both substrate support 28 and pumping plate 34 as a result of the first series of process steps 301 through 307. Additionally, as Figure 6 illustrates, deposits 25 on the edge and bottom surfaces of substrate support 28 and pumping plate 34 can now be removed since these areas are more readily accessible to reactive species. Step 308 represents the desire to repeat

steps 304 through 307 to remove additional deposits from additional processing regions insufficiently cleaned by the first series of steps 304 to 307.

Returning to flow diagram 300 of Figure 3 and according to block 308, the next step is to repeat blocks 304, 305, 306 and 307 for other interior regions until all deposits are removed or all interior regions are cleaned. It is to be appreciated that the ratio of inert gas to reactive species in the gas mixture provided to the processing region may change during each of the repeated series of steps 304 through 307 or remain at some desired ratio. For example, as described above, the inert gas and the cleaning gas may maintain an advantageous 2:1 ratio. As shown in Figures 5 and 6, the interior region of the processing chamber as referred to by step 304 now includes a larger volume which includes interior regions 24 and 26.

Next, according to block 305, is adjusting the pressure in chamber 10. Besides increasing spacing 38, it is believed that decreased pressure and the resulting increase in residence time will also help reactive species remove deposits from interior region 26. Accordingly, the pressure within chamber 10 is decreased which spreads reactive species within interior regions 34 and 26. A typical pressure is about 900 mT or approximately half the pressure used in the first step 305.

Next, according to block 306, is to remove deposits by reacting the reactive species with the deposits to form volatile compounds. Here, most of the deposits to be reacted are those remaining on substrate support 28 and pumping plate 34 shown in Figure 6 as well as other accumulations which may have occurred within lower deposition region 26. Cleaning continues in region 24 as reactive species react with deposits remaining in that region. As before, the reactive species react with the deposits within the processing region and form volatile compounds.

In a specific embodiment of the present invention, the second series of steps 304 through 307 represents providing an advantageous inert gas - cleaning gas mixture to a larger volume processing region at a lower pressure. For example, where the inert gas - cleaning gas mixture is provided to the combined volumes of regions 24 and 26 at a pressure of about 900 mT. Alternatively, the second series of steps are conducted at a pressure that is about half the pressure used in the first series of steps 304 through 307 in a chamber interior region having a larger volume than the chamber volume cleaned in the first series of steps.

Next, according to block 307, the volatile compounds are removed from the chamber. For example, in chamber 10 volatile compounds would be exhausted from interior regions 24 and 26 via pump 15. If desired, control valve 90 could be aligned to divert or closed in order to prevent the reactive species and inert gas from reaching chamber 10. Diverting or otherwise preventing the reactive species and inert gas from entering chamber 10 allows any residual gases from previous cleaning operations to be exhausted.

Next, according to block 308, steps 304, 305, 306 and 307 are repeated to remove deposits formed in other interior regions. Specifically contemplated is the repetition of steps 304 - 307 to provide reactive species to each interior chamber region created according to the specific configuration of the chamber to be cleaned by the method of the present invention. Just as substrate support 28 and pumping plate 34 create upper and lower interior regions 24 and 26, other processing chambers will have chamber regions or divisions created by the particular internal components of that chamber.

Although chamber regions 24 and 26 are described with respect to a narrowing between substrate support 28 and a pumping plate 34, these restrictions or obstructions are merely illustrative of similar problems which occur in virtually every type of processing apparatus. Some reactors employ a pumping plate as in chamber 10 while other reactors will have process specific components which also partition, restrict gas flows or otherwise decrease fluid communication between processing regions within the chamber interior. An example includes R.F. enhanced plasma deposition chambers of the type with wafer handling and susceptor lifting mechanisms which, depending on their relative positions, obstruct one another from deposition and cleaning gases. In that type of chamber, processing regions may be created by alternating the handler and lifting mechanisms in order to effectively clean the chamber interior. Another example is an etch chamber which employs a shadow ring to preclude wafer movement during processing. In that chamber, processing regions may be determined by the relative placement of the shadow ring within the chamber. Other examples include tube reactors and other processing systems that utilize track or conveyor systems to move substrates in and out of a processing area. Processing regions in these types of systems could be created by regions which are obstructed by the track system or conveyor system. Other examples of chamber type and process

type chamber regions and internal component obstructions within a given chamber will occur to those of ordinary skill in the art and are within the scope of the present invention.

Next, according to block 309, is to deposit a layer of material inside the processing chamber prior to resuming processing operations. One purpose of this step is to remove residual cleaning gases, reactants and volatile compounds which if allowed to remain in the processing chamber may interfere with the subsequently deposited films. Although purging a chamber with inert gas may be sufficient in some circumstances, some processes achieve improved results by intentionally depositing a layer of film on interior chamber surfaces. The step of seasoning or intentionally depositing a layer of film in a process chamber is of particular importance where Fluorine has been used as a cleaning reactant. Residual fluorine may have detrimental effect on deposited film quality on subsequently processed substrates. Forming a layer of film in a chamber without a substrate present allows residual gases to react, form volatile compounds and be exhausted from the chamber. Additionally, particles remaining within the chamber will become entrapped in the deposited seasoning layer. In either case, the seasoning step ensures that unreacted or residual cleaning gases and by-products are removed from the chamber before resuming processing operations. In a representative embodiment such as a Tantalum deposition chamber, a layer of tantalum pentaoxide may be deposited on substrate support 28 and other interior surfaces of chamber 10 by flowing vaporized TAT-DMAE and an oxidizing gas into the chamber at a temperature of about 475° C. A representative seasoning layer for Ta₂O₅ about 2500 Å. The particular thickness and composition of a seasoning layer will vary depending on the chamber and type of film deposited.

The final step of the present invention, block 310, is the resumption of processing operations in chamber 10. One such processing operation is the thermal deposition of tantalum pentaoxide by mixing a tantalum precursor with an oxidizing agent at approximately 450°C. Accordingly, a substrate is placed on resistively heated substrate support 28. Heater controller 44 adjusts the power provided heater 29 to maintain the substrate at an appropriate processing temperature of about 450°C. Lift mechanism 42 positions substrate support 28 and the wafer thereupon in chamber 10 relative to showerhead 32 to a spacing of, for example, 400 mils. Gas supplies 46 and 48 of Figure 1 contain an oxidizing gas such as oxygen or nitrous oxide and a tantalum

precursor such as TAT-DMAE or TAETO. Valve and controller mechanism 50 mixes and adjusts the flow rate of the tantalum and oxidizing gases and delivers them to chamber 10. The temperature of the substrate positioned on support 28 is sufficient to form tantalum pentaoxide from the incoming gas stream.

An alternative method of the present invention may also be practiced within a single processing region of a chamber having multiple processing regions (e.g. first and second processing areas 24 and 26 of chamber 10) or in chambers having only a single processing region such as chamber 100 of Figure 7. The alternative method is practiced by adjusting the cleaning gas/inert gas ratio and the chamber pressure. Turning now to figure 7, an embodiment of a chamber having a single processing region can be better appreciated.

Figure 7 illustrates a representative chamber 100 having a single processing region. Chamber 100 could be an Ultima High Density Plasma (HDP) Chemical Vapor Deposition (CVD) chamber or Ultima HDP CVD™ chamber manufactured by Applied Materials, Inc. of Santa Clara, California. Chamber 100 is coupled to plasma generating apparatus 60 and gas supplies 46 and 48. Chamber 100 has a chamber body 105 and a lid 110 that together form a pressure and temperature controlled processing region 107. Substrate support 125 has a top support surface 126 and is disposed within processing region 107. Support arm 130 is coupled to chamber body 105 and supports substrate support 125. Pressure within processing region 107 is provided by turbo pump 140 and roughing pump 150. Throttle valve and gate valve assembly 135 separates processing region 107 from turbo pump 140 and roughing pump 150 and controls the pressure within processing region 107. Plasma apparatus 60 and as well as other similarly numbered elements shown in Figure 7 are the same as described above with regard to Figures 1 and 5. Although, remote plasma apparatus 60 of Figure 7 is a manual tuner controller 68, an automatic tuner controller could also be used to dissociate the cleaning gas.

Gas supplies 48 and 46 could be any of a variety of process gases used to deposit commercial quality semiconductor films. Gas supplies 46, 48 and valve and controller 50 could be configured to provide precursor material into processing region 107 in order to deposit silicon dioxide, silicon nitride, fluorine doped silicate glass (FSG) or other low dielectric constant films, phosphorus doped silicate glass (PSG) or other premetal dielectric films. Gases from gas supplies 48 and 46 flow through gas

supply inlet 52 and then through chamber gas inlets 120. Induction coils 112 provide RF energy to the portion of region 107 above substrate support top surface 126 for deposition processes conducted within chamber 100. The RF energy provided by coils 112 is used only for deposition processes and is not used during the remote cleaning processes of the present invention. In a typical plasma enhanced deposition reactor such as chamber 100 in Figure 7, deposits would tend to form primarily in the area delineated by coils 112. The influence of coils 112 on deposition within processing region 107 results in the highest concentrations of deposits occurring on the substrate support top surface 126 and along the sides of substrate support 125 and support arm 130. To a lesser extent, deposits also form on the interior surfaces of chamber lid 110 and chamber body 105.

An alternative method of the present invention can be conducted in a single processing region of a chamber, can be better understood by turning to Figure 8. Figure 8 is a flow chart of the single processing region method of the present invention.

First, as set forth in block 801 of flow diagram 800 in Figure 8, after forming deposits within the processing chamber and removing processed substrates from the chamber, initiate a plasma in the remote plasma apparatus. Since a manual tuner controller is used, the plasma is more readily initiated through the use of a plasma initiating gas. Plasma initiation could be accomplished by flowing an inert gas such as Ar through applicator 72 at a rate of about 1000 sccm. After the pressure within chamber 100 rises above 600mT, magnetron 62 directs microwave energy to the Ar gas flow within applicator 72. Once the plasma is initiated, the cleaning gas is introduced by reducing the flow of the plasma initiating gas while increasing the flow of the cleaning gas. In a representative embodiment using Ar and NF_3 , Ar could be flowed at about 1000 sccm with magnetron 62 producing microwave energy at about 3200 W to initiate a plasma. NF_3 could then be introduced into applicator 72 at about 100 sccm. Shortly thereafter, the flow rate of the cleaning gas is increased while the flow rate of the inert gas is decreased. The result provides a sustained plasma in applicator 72 with the cleaning gas flowing through the applicator and being dissociated in the plasma. In a specific example where only the cleaning gas or NF_3 is desired, the Ar flow rate could be stopped after a stable plasma is formed with the NF_3 flow. Typically in manually tuned systems, Ar is introduced at about 1000 sccm for

plasma strike. The NF_3 is introduced and then the Ar flow is adjusted according to the desired Ar/ NF_3 ratio. The plasma is now initiated and sustained with only the cleaning gas being introduced and dissociated in applicator 72. It is to be understood that the above process is illustrative of initiating a plasma in a manual tune remote plasma system. An automatically tuned remote plasma system could also be employed to activate or dissociate the cleaning gas directly without first using an inert gas or other plasma initiating gas to initiate a plasma within applicator 72.

Next, as set forth in block 802, is to determine whether to provide cleaning gas dilution. Cleaning gas dilution refers to the addition of an inert gas into the flow of the cleaning gas or reactive species producing gas. As step 802 indicates, the cleaning gas can be provided alone or in combination with an inert gas. If cleaning gas dilution is desired, the next step is set forth in block 811. If cleaning gas dilution is not desired, the next step is set forth in block 803.

In the case where cleaning gas dilution is not desired, proceed to block 803 which provides an adjustment to the cleaning gas flow rate. In this step, the cleaning gas flow rate is adjusted to the desired cleaning step flow rate from the flow rate utilized during plasma initiation. The cleaning gas flow rate could vary depending, for example, upon on the cost of the cleaning gas to be consumed, the power capacity of magnetron 62 and the type of film deposit to be cleaned from the chamber. Recall that the power output of magnetron 62 limits the rate of cleaning gas flow which can be completely or nearly completely dissociated. For example, it is believed that a magnetron 62 rated at 3500 W in a remote plasma apparatus 60 can achieve about 99% dissociation of a 1700 sccm NF_3 gas flow. For a constant magnetron power of 3500 W, gas flows greater than 1700 sccm could result in decreased dissociation percentages. For a given cleaning gas flow rate, lower magnetron power output levels could also result in lower dissociation percentages. For example, an NF_3 flow rate of 300 sccm and a magnetron power of 500 W may produce only about 95% dissociation while an NF_3 flow rate of 1500 sccm and a magnetron power of 3200 W may produce 99% or higher dissociation. After adjusting the cleaning gas flow rate to the desired rate, proceed to block 804.

In the case where cleaning gas dilution is desired, then a mixture of cleaning gas and inert gas is provided to the remote plasma applicator. Cleaning gas dilution could also be accomplished by flowing only the cleaning gas through applicator 72

with the inert gas being introduced downstream of applicator 72. In this case, proceed as set forth in block 811 which provides an adjustment to the cleaning gas flow rate. As stated with regard to block 803, the cleaning gas can be adjusted to the desired rate. After adjusting the cleaning gas flow rate, the next step in cleaning gas dilution is to adjust the inert gas flow rate to the desired rate. The adjustment of the cleaning gas and the inert gas in blocks 811 and 812 is achieved by valve and controllers 80 and 82 of Figure 7. One of ordinary skill will appreciate that the sequence of adjusting could be reversed so that the inert gas flow is altered before the cleaning gas flow or the gas flows could be adjusted nearly simultaneously. In an illustrative embodiment of the present invention where magnetron 62 delivers 3200 W of microwave energy to applicator 72, the cleaning gas is NF_3 and the inert gas is Ar, representative flow rates for cleaning gas dilution according to the present invention could have a NF_3/Ar flow ratio of one to one or, preferably, two to one. In a specific embodiment of the present invention, the Ar gas flow rate is 750 sccm, the NF_3 flow rate is 1500 sccm and the microwave energy directed to applicator 72 is 4500 W.

After adjusting the cleaning gas flow rate according to block 803 or adjusting the cleaning gas and the inert gas flows according to blocks 811 and 812, the next step, as set forth in block 804, is to provide reactive species to the processing chamber. Regardless of whether or not cleaning gas dilution is employed, cleaning gas dissociation occurs as the cleaning gas passes through applicator 72 and is exposed to the microwave energy generated by magnetron 62. So long as sufficient microwave energy is provided, cleaning gas provided into applicator 72 will dissociate and form reactive species. For example, if NF_3 is employed as a cleaning gas, the dissociation that occurs within applicator 72 will produce reactive F, some N_2 , and trace amounts of NF and F_2 . Referring again to the illustrative embodiment of chamber 100 in Figure 7, reactive species exiting applicator 72 flow through supply line 88 past diverter 90 and into chamber supply line 52. From chamber supply line 52, reactive species are provided to processing region 107 via chamber gas inlets 120.

Turning again to Figure 8, the next step as set forth in block 805, is to adjust the chamber pressure. One method to monitor the pressure within processing region 107 is to employ a capacitance manometer. The desired pressure within processing region 107 is obtained by adjusting the position of throttle valve/gate valve assembly 135 to increase or decrease the conductance between processing region 107 and

pumps 140 and 150. Advantageous results have been obtained in pressure ranges between 1 T and 4 T or preferably about 1.8 T and 3 T.

Next, as set forth in block 806, is to react reactive species with and remove chamber deposits. Reactive species entering processing region 107 will combine with the deposits formed in processing region 107 to form volatile compounds that are exhausted from the chamber. In a typical plasma enhanced deposition reactor such as chamber 100 in Figure 7, deposits would tend to form primarily in the area delineated by coils 112. As a result of the influence of coils 112 on deposition processes conducted within processing region 107, the highest concentrations of deposits are believed to occur on the substrate support top surface 126 and along the sides of substrate support 125 and support arm 130. Deposits also form on the interior surfaces of chamber lid 110 and chamber body 105. Reactive species entering processing region 107 react with the deposits, form volatile compounds and are exhausted from processing region 107.

The next step, as set forth in block 807, is a decision whether to modify gas flow.

In the case where a different inert or cleaning gas flow is desired, return to block 802. At block 802, determine whether cleaning gas dilution will be continued as in the case where dilution is in use, or will be implemented as in the case where non-diluted cleaning gas was employed. Based on adjustments made according to block 803, in the case of no cleaning gas dilution, or according to blocks 811 and 812, in the case of cleaning gas dilution, provide reactive species to the processing chamber (block 804) at the adjusted flow rate. The modified gas flows are employed as before and the chamber pressure can also be adjusted in block 805. Next, the reactive species can react with and remove deposits according to block 806. Once again, and for as many times as necessary, a block 807 determination could be made to return to block 802 and repeat the above steps for different gas flows and chamber pressures.

Once the number of repetitions from block 807 to block 802 are complete or in the case where no gas flow rate adjustment is desired, proceed to the next block which is block 808.

The next step, as set forth in block 808, is to determine whether chamber pressure is to be modified. This step allows the same gas flow to be provided to the chamber while providing different pressures within chamber 100. For example,

determining not to modify the gas flow in block 807 followed by deciding to modify chamber pressure in block 808 results in the previously determined compositions of reactive species or reactive species/inert gas mixture being provided to processing region 107 under different pressure conditions. For example, the chamber might be maintained at a constant pressure while providing a variety of different gas flow combinations (e.g., in the case where no pressure adjustment is made in block 805 while opting to adjust gas flows in block 807). Alternatively, various pressures could be employed in chamber 100 while maintaining constant gas flow rates as in the case where no gas flow modification is selected in block 807 but chamber pressure modification is selected at block 808. Also anticipated is a cleaning method which employs multiple pressures and multiple gas flow combinations. As stated above, higher pressures generally result in shorter mean free paths for gases while lower pressures generally result in longer mean free paths for gases. For example, a higher pressure may be used for initial cleaning steps when deposits are greatest and reactions between reactive species and deposits likely. As cleaning progresses and deposits are reduced, lower pressures can be employed to increase residence time thereby increasing the likelihood of reaction between the longer residence time reactive species and the remaining deposits. Also contemplated in the method of the present invention is the advantageous use of both cleaning gas dilution and low chamber pressure to increase the residence time and decrease the recombination of the reactive species thereby improving the chamber cleaning process.

After conducting desired gas flow and pressure combinations provided through responses to blocks 807 and 808, the next step as set forth in block 809 is to season the chamber. As described above with regard to a Tantalum disposition chamber, the quality and reliability of many deposition processes are improved if steps are taken to remove from the processing region residual cleaning gases, reactive species and other volatile compounds created by the cleaning process described above. In the case where the subsequent processing operations include the deposition of silicon nitride, a layer of about 1000 Å silicon nitride is deposited within processing region 107. In the case of silicon dioxide, fluorine doped silicate glass (FSG) or other low dielectric constant films (i.e. films having a dielectric constant below 4.0), phosphorus doped silicate glass (PSG) or other premetal dielectric films, a layer of about 1000Å of silicon dioxide is deposited within processing region 107.

Block 810 of flow diagram 800 sets forth the last step of the present invention which is to resume chamber processing. The cleaning process of block 800 can be repeated as desired depending upon processing requirements. Representative cleaning cycles for typical semiconductor fabrication processes include cleaning the chamber after three to five substrates are processed or after about 3 μm of film has been deposited on substrates processed in chamber 100.

The description above with regard to Figure 8 sets forth the steps of block diagram 800 serially to provide a more through understanding of the present invention. One of ordinary skill in the art will appreciate that many of the steps may be conducted simultaneously or nearly simultaneously. Other minor deviations within flow diagram 800 are also within the scope of the present invention. For example, steps 811 and 812 could be performed in reverse order such that when cleaning gas dilution is desired, the inert gas flow is adjusted before the cleaning gas flow is adjusted. Additionally, the chamber pressure may be adjusted (blocks 805 and 808) before the determination of whether or not to employ cleaning gas dilution (blocks 802, 811, 812 and 807).

The method of the present invention set forth in flow diagram 800 can be better appreciated by considering the following representative examples. In an embodiment of the present invention, the processing chamber is maintained at a constant pressure while a cleaning gas is provided alone and then in combination with an inert gas in accordance with the present invention. The chamber could have been used for processing operations including the deposition of a low dielectric constant (i.e. a dielectric constant less than 4.0). One such film is fluorine doped silicate glass (FSG). After conducting processing operations which form deposits within the processing chamber and removing the last wafer processed, a 3200 W plasma could be initiated in the remote plasma apparatus. An inert gas such as Argon could be used to initiate the plasma if a manual tuned microwave generator is employed. After initiation, a cleaning gas is provided to the remote plasma apparatus to generate reactive species. In this example, NF_3 is used and cleaning gas dilution (block 802) is not employed in this portion of the process. Next, according to block 803 the cleaning gas flow rate is adjusted to the desired flow rate. In this example, NF_3 is provided at about 1500 sccm. As the NF_3 dissociates and provides reactive species to the processing chamber (block 804) the chamber pressure is maintained at a constant

pressure of about 3 Torr (block 805). Reactive species provided by the dissociated cleaning gas react with the deposits formed within the chamber to form volatile compounds that are exhausted from the chamber (block 806). In this example the reactive species are reactive fluorine which removes FSG deposits at between about 1.2 $\mu\text{m}/\text{min}$ to 0.9 $\mu\text{m}/\text{min}$. In a process where the chamber is cleaned after 3 μm of deposition material is allowed to accumulate, this step lasts approximately 75 to 100 seconds.

The next step in this example is to modify gas flow in response to block 807 and employ cleaning gas dilution in response to block 802. In response to blocks 811 and 812, the cleaning gas and inert gas flows are adjusted and maintained at a level such that complete or nearly complete dissociation occurs in applicator 72. In this example, the cleaning gas is NF_3 and inert gas is Argon and they are provided in a 1:1 ratio, where NF_3 could be adjusted to 750 sccm while Ar is adjusted to 750 sccm. Alternatively, advantageous results may be obtained by providing a 2:1 ratio between the cleaning gas and the inert gas. Again using NF_3 and Ar as examples, the flows could be adjusted to provide 1000 sccm NF_3 while providing 500 sccm Ar. In both the 1:1 and 2:1 ratio examples where the cleaning gas is NF_3 or other gas with a similar dissociation energy requirement, the total flow rate through applicator 72 is 1500 sccm which if employed with a 3500 W output from magnetron 62 is believed to produce complete or nearly complete (i.e. about 99%) dissociation of the cleaning gas.

As the cleaning gas, in this example NF_3 , dissociates and provides reactive species to the processing chamber (block 804) the chamber pressure is maintained at a constant pressure of about 3 Torr (block 805). Reactive species provided by the dissociated cleaning gas react with the deposits formed within the chamber to form volatile compounds that are exhausted from the chamber (block 806).

Next, after the removal of deposits conducted in accordance with block 806 is complete, then the cleaning gas and inert gas flows could be modified according to blocks 807 and 802 to provide another combination of cleaning gas and inert gas or to provide cleaning gas alone. According to this specific example, gas flow and chamber pressure modifications according to blocks 807 and 808 are not desired. Instead, in accordance with block 809, the chamber is seasoned by depositing a layer of film before resuming processing operations. For example, in a processing apparatus used to deposit FSG a layer of about 1000 Å of SiO_2 may be deposited. In this specific

example, the next step in according to block 810 is to resume FSG deposition operations in the processing chamber.

In another specific embodiment of the present invention, the cleaning method would employ at least two different pressures along with cleaning gas alone and cleaning gas diluted by an inert gas. Initially, a high pressure is used when the amount of deposits is greatest followed by a low pressure clean when the amount of deposits is reduced and dispersed within the chamber. The chamber could have been used for processing operations such as the deposition of a premetal dielectric. One such film is phosphorus doped silicon glass (PSG). After conducting processing operations which form deposits within the processing chamber and removing the last wafer processed, a 3200 W plasma could be initiated in the remote plasma apparatus. As described above, an inert gas such as Argon could be used to initiate the plasma if a manual tuned microwave generator is employed. After initiation, a cleaning gas is provided to the remote plasma apparatus to generate reactive species. In this example, NF_3 is used and cleaning gas dilution (block 802) is not employed in this portion of the process. Next, according to block 803 the cleaning gas flow rate is adjusted to the desired flow rate. In this example, NF_3 is provided at about 1500 sccm. As the NF_3 dissociates and provides reactive species to the processing chamber (block 804) the chamber pressure is maintained at a constant pressure of about 3 Torr (block 805). Reactive species provided by the dissociated cleaning gas react with the deposits formed within the chamber to form volatile compounds that are exhausted from the chamber (block 806).

The next step in this representative remote clean process of the present invention is to modify the gas flow in response to block 807 and employ cleaning gas dilution in response to block 802. In response to blocks 811 and 812, the cleaning gas and inert gas flows are adjusted. In this example where the cleaning gas is NF_3 and inert gas is Argon, the gases could be provided in a 1:1 ratio such as where NF_3 is 750 sccm and Ar is 750 sccm. Alternatively, better cleaning uniformity may be obtained by providing a 2:1 ratio between the cleaning gas and the inert gas as in where the gas flows are adjusted to provide 1000 sccm NF_3 and 500 sccm Ar or, preferably, 1500 sccm NF_3 and 750 sccm Ar. As in the previous example, total flow through applicator 72 and microwave power are maintained at a level where complete or nearly complete dissociation of the cleaning gas is achieved.

As the cleaning gas inert gas mixture dissociates and provides reactive species to the processing chamber (block 804) the chamber pressure is decreased to a pressure of about 1.8 Torr (block 805). Reactive species have a longer residence time at the lower pressure thereby increasing the likelihood that they will react with the remaining deposits formed within the chamber to form volatile compounds that are exhausted from the chamber (block 806).

After the removal of deposits conducted in accordance with block 806 is complete, the chamber is seasoned by depositing a layer of film in accordance with block 809 before resuming processing operations. For example, in a processing apparatus used to deposit PSG a layer of about 1000 Å of SiO_2 may be deposited in processing region 107 while no substrate is present within region 107. Next according to block 810, resume the deposition of PSG films on substrates in the processing chamber.

In addition to the above specific embodiments, it is anticipated that several gas flow rates and chamber pressures may be employed and modified through successive iterations of the steps in block diagram 800. It is also anticipated that the methods of block diagram 800 may be employed with the methods of block diagram 300. One result illustrative of such a combined method would be the employment of the gas mixing and chamber pressure adjustments of block diagram 800 into the multiple interior regions formed within a processing reactor 10.

Referring now to Figures 9, 10 and 11, the advantageous cleaning rate and cleaning uniformity achieved by a method of the present invention set forth in Figure 3 can be better appreciated. The results illustrated in Figures 9, 10 and 11 were obtained by measuring the initial thickness and uniformity of a SiO_2 film deposited on several 200 mm wafers then exposing those wafers to different process conditions within a chamber 10 to determine the effect of the different process conditions on cleaning rate and uniformity. After exposure to a particular cleaning process environment, film thickness and uniformity was again measured and compared to the original thickness and uniformity. Each graph represents a different variable such as various Ar flow rates in Figure 9, various NF_3 flow rates in Figure 10 and various chamber pressures in Figure 11.

Figure 9 represents the effect of increased Argon flow rate on clean rate and uniformity while chamber pressure and NF_3 flow are constant. While maintaining a

chamber pressure of 2 Torr and a NF_3 flow rate of 200 sccm, Ar flow was varied from 0 to 1000 sccm. The flow rate of 400 sccm provided the highest clean rate of about 7500 Å/min and the lowest uniformity of about 11%. As Ar flow rate increased above 400 sccm or as the NF_3 flow is further diluted by the higher Ar flow, the cleaning rate decreased to between about 4100 and 5800 Å/min while the uniformity increased to as much as 35%. As the Ar flow decreased below 400 sccm the cleaning rate decreased below 7500 Å/min to as low as 6000 Å/min while the clean uniformity increased to between 12 % to 25 %.

Figure 10 represents the effect of increased NF_3 flow on cleaning rate and uniformity. While maintaining chamber pressure at 2 Torr and Ar flow rate at 400 sccm, NF_3 flow rate was increased from 0 sccm to 400 sccm. At 200 sccm of NF_3 , the cleaning rate was about 7500 Å/min with a clean uniformity of about 10 %. Increasing NF_3 flow above 200 sccm led to a decreased clean rate of about 6000 Å/min and an increased clean uniformity of about 15%. Decreasing the NF_3 flow rate below 200 sccm decreased the cleaning rate to about 3000 Å/min while increasing the clean uniformity to between 20% to 30%.

Figure 11 represents the effect of chamber pressure on cleaning rate and clean uniformity for constant Ar and NF_3 flow rates. At 2 Torr chamber pressure the clean uniformity was about 10% while the clean rate was about 7500 Å/min. At pressures below 2 Torr the clean uniformity is only moderately increased however the cleaning rate decreases to about 3000 Å/min. At pressures above 2 Torr, the uniformity is above 20% while the cleaning rate is only about 3000 Å/min. A higher cleaning rate is indicative of a more rapid clean and a low cleaning uniformity indicates that the cleaning radicals are more evenly applied throughout the chamber interior thereby reducing the likelihood that some chamber components may be overcleaned and damaged. Thus, a review of the results obtained and illustrated in Figures 9, 10 and 11, an advantageous clean having the highest cleaning rate and lowest uniformity could be achieved using the methods of the present invention in a chamber 10 at a pressure of 2 Torr and Ar/ NF_3 mixture activated in applicator 72 and provided to the chamber in a 2:1 ratio or the specific embodiment of 400 sccm Ar and 200 sccm of NF_3 and a microwave power of 1400 Watts.

Figure 12 represents alternative results obtained in a test conducted in a chamber similar to chamber 100 of Figure 7. In this test a silicon dioxide film was

deposited on a 300 mm wafer and the initial thickness and uniformity of the film was measured. The wafer was then placed in a chamber 100 and exposed to cleaning process conditions similar to the cleaning method set forth in Figure 8. After conducting the cleaning process, the wafer was removed from the chamber and the thickness and uniformity of the film was again measured. These post cleaning measurements are illustrated in Figure 12. The method of Figure 8 was conducted in a chamber 100 with a 1:2 Ar/NF₃ ratio, in this embodiment a 750 sccm Ar flow and 1500 sccm NF₃ flow were used, with a microwave power of 4500 Watts and a chamber pressure of 3 Torr. This specific embodiment of the method of Figure 8 achieved a cleaning uniformity of 4.34% and a cleaning rate of 2000 Å/min.

While specific embodiments of the invention have been shown and described, further modifications and improvements will occur to those skilled in the art. It is desired that it be understood, therefore, that the invention is not limited to the particular form shown and it is intended in the appended claims which follow to cover all modifications which do not depart from the spirit and scope of the invention.

4 Brief Description of Drawings

Figure 1 is a cross sectional and schematic view of a processing system of the present invention.

Figure 2 is a cross sectional view of a remote plasma applicator cavity.

Figure 3 is a block diagram illustrating a method of the present invention.

Figure 4 is enlarged view A of Figure 1.

Figure 5 is a cross sectional and schematic view of a processing system of the present invention;

Figure 6 is enlarged view A of Figure 4.

Figure 7 is a cross sectional and schematic view of a single volume processing chamber and the remote plasma apparatus of the present invention.

Figure 8 is a block diagram illustrating a method of the present invention.

Figure 9 is a graph illustrating the effect of Argon flow on cleaning rate and cleaning uniformity.

Figure 10 is a graph illustrating the effect of NF₃ flow on cleaning rate and cleaning uniformity.

Figure 11 is a graph illustrating the effect of chamber pressure on cleaning rate and uniformity.

Figure 12 is a thickness map of a 300 mm wafer exposed to a cleaning method according to the present invention.

5

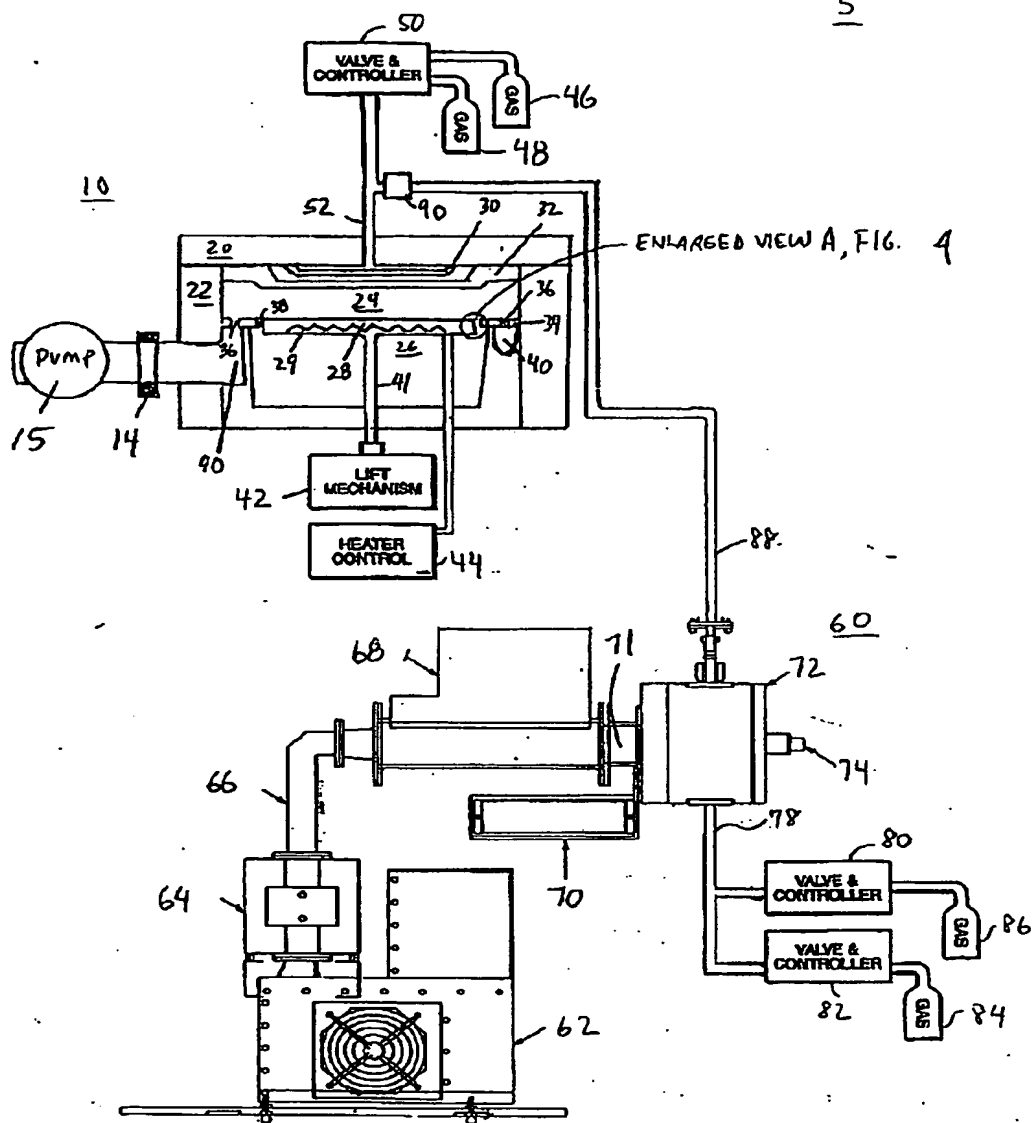


Figure 1

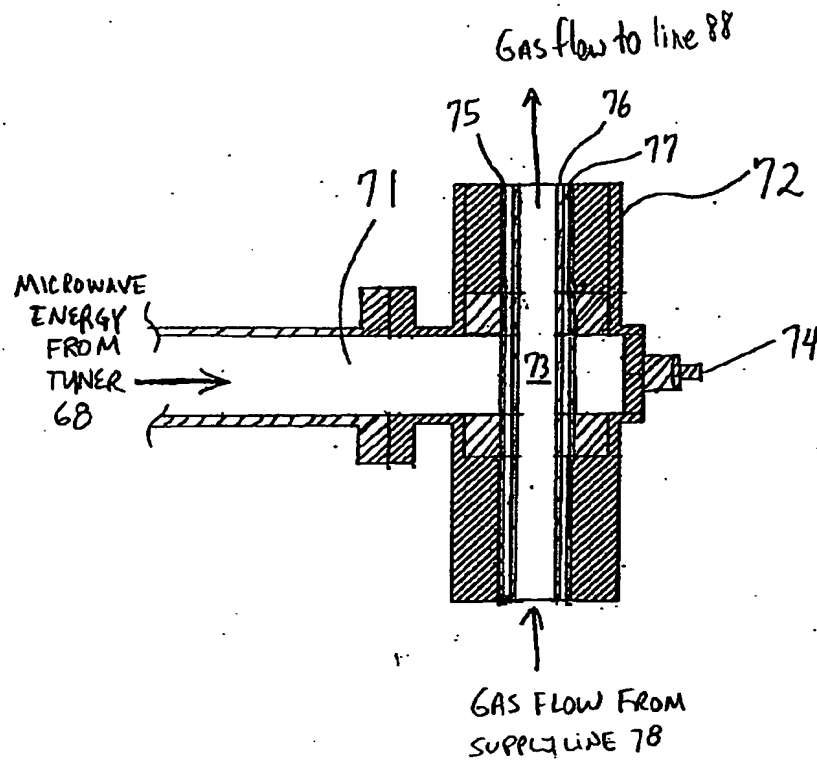
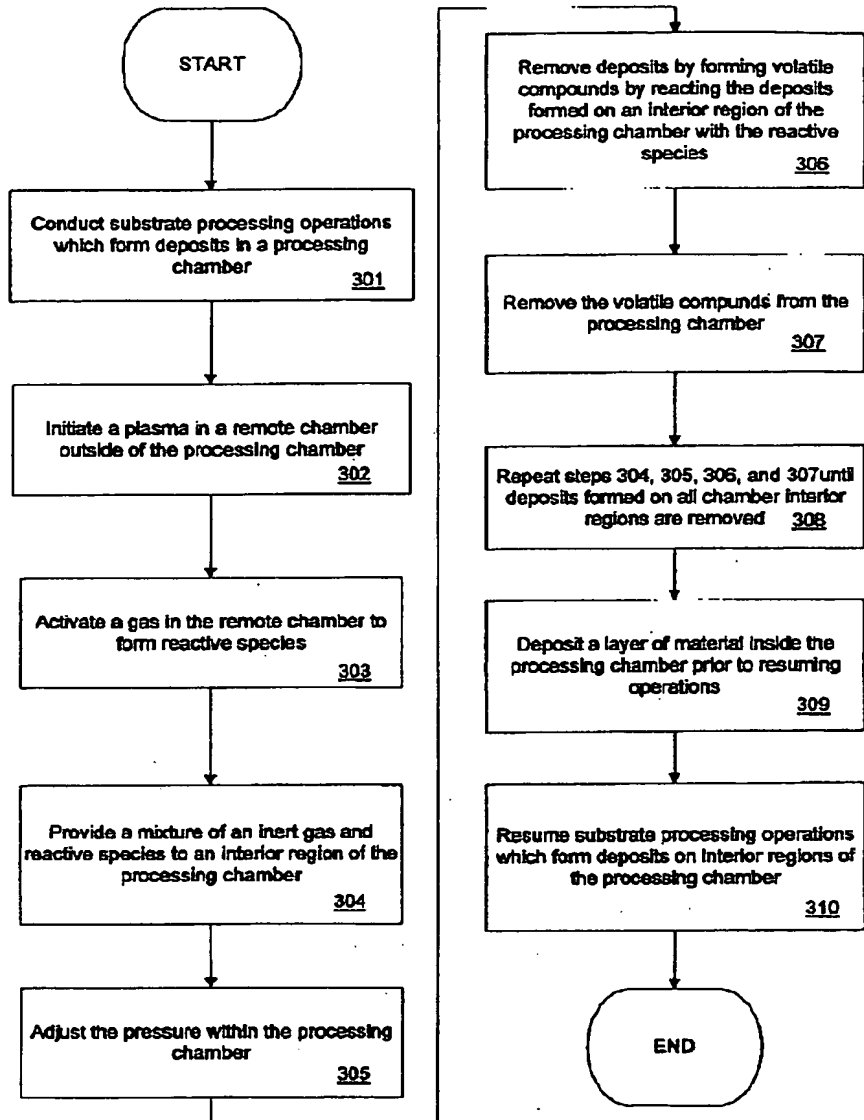


FIGURE 2

FIGURE 3

300

ENLARGED VIEW A

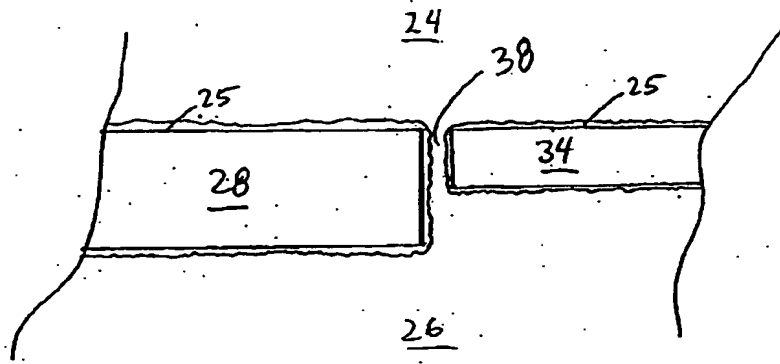


FIG. 4

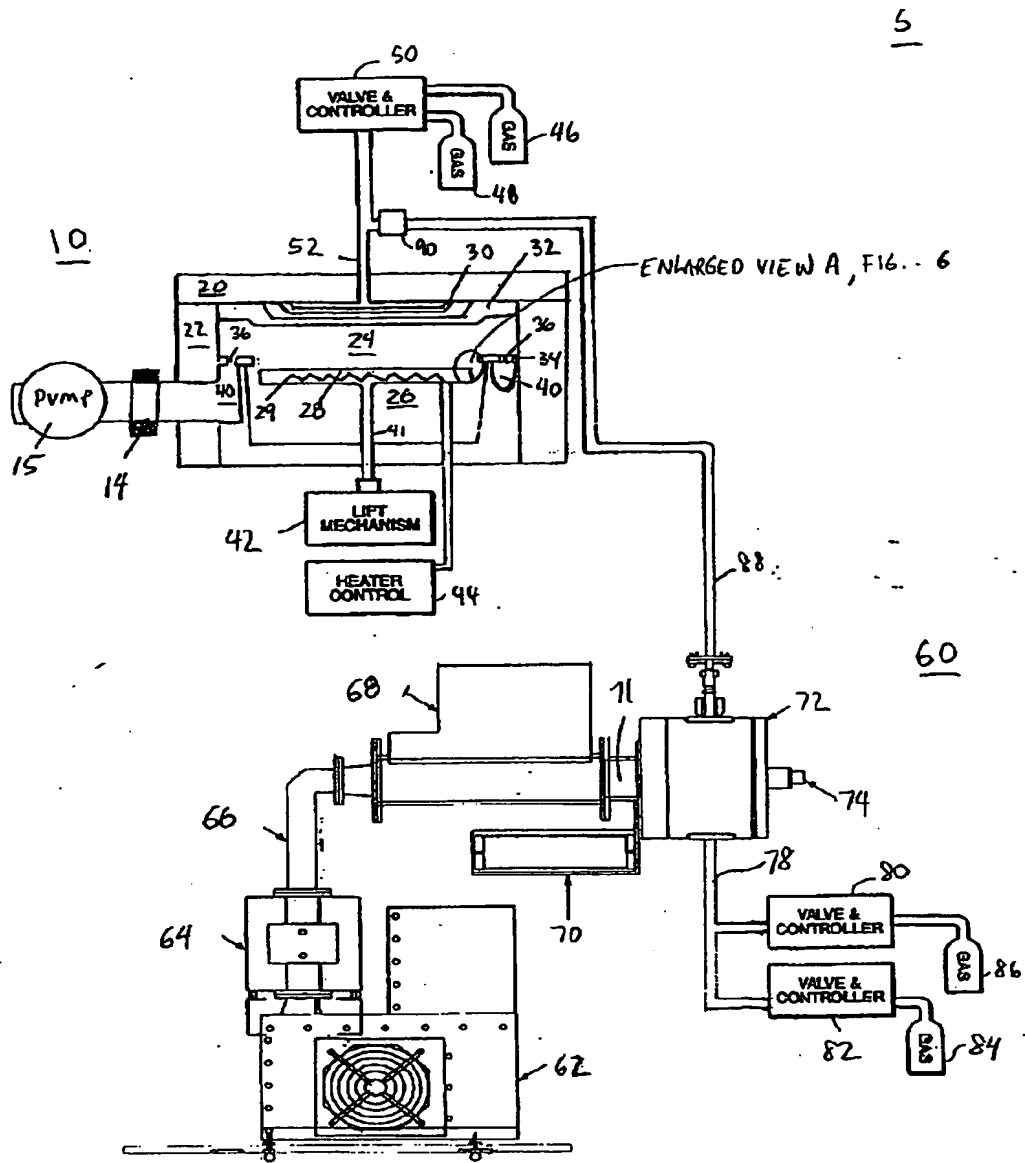


Figure 5

ENLARGED VIEW A

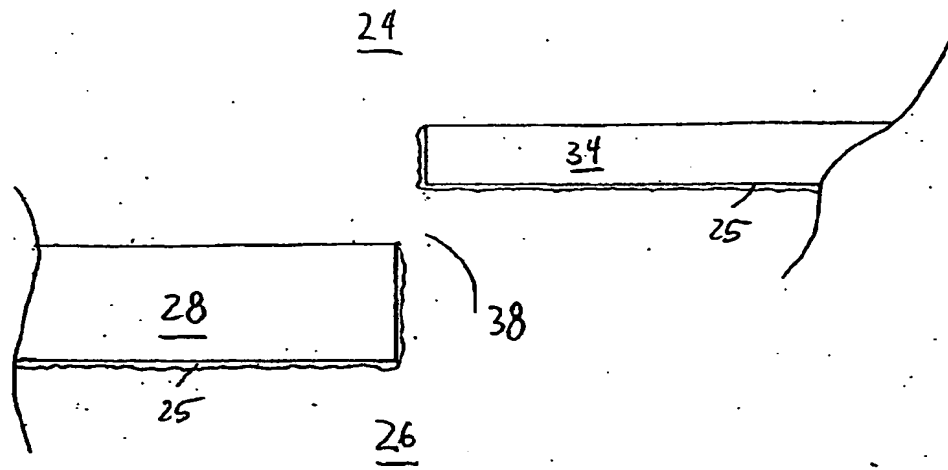


FIG. 6

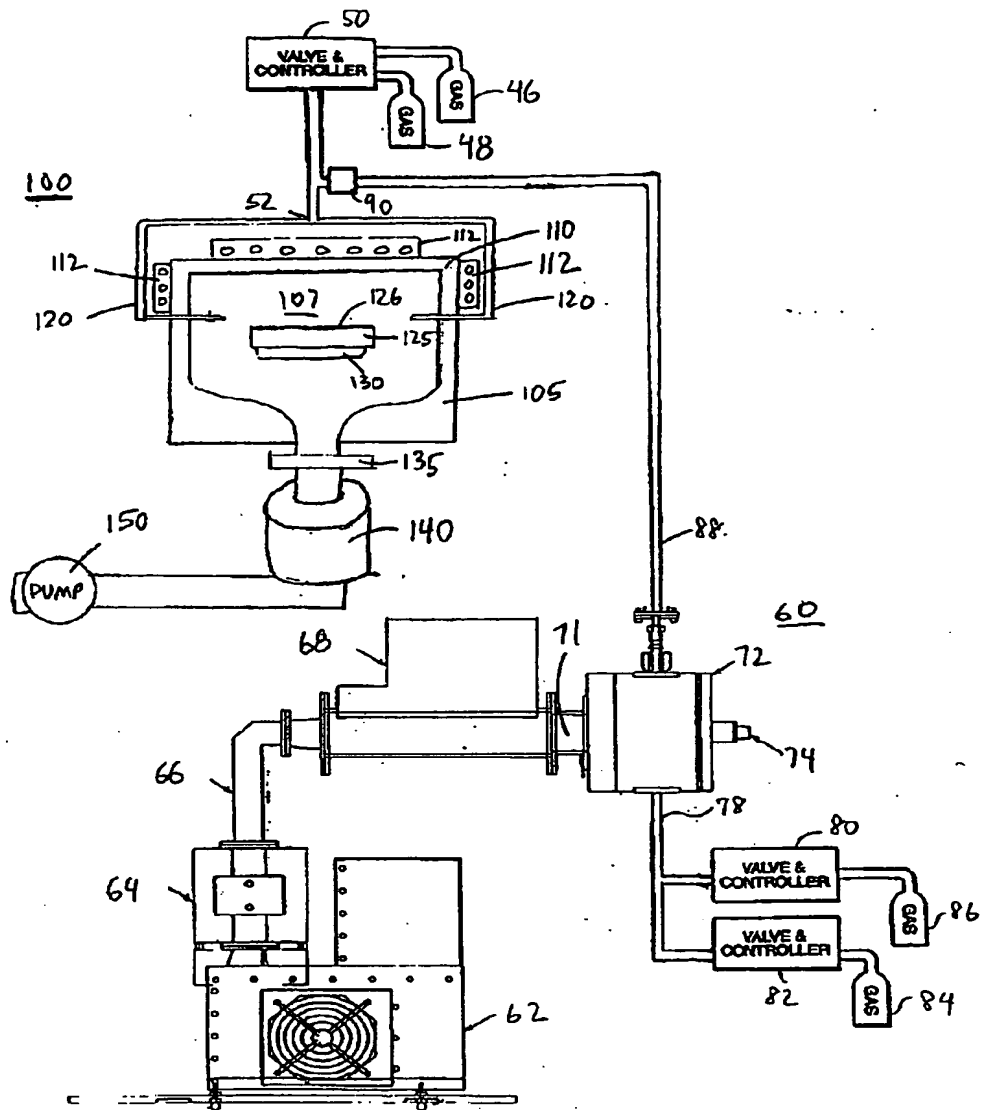
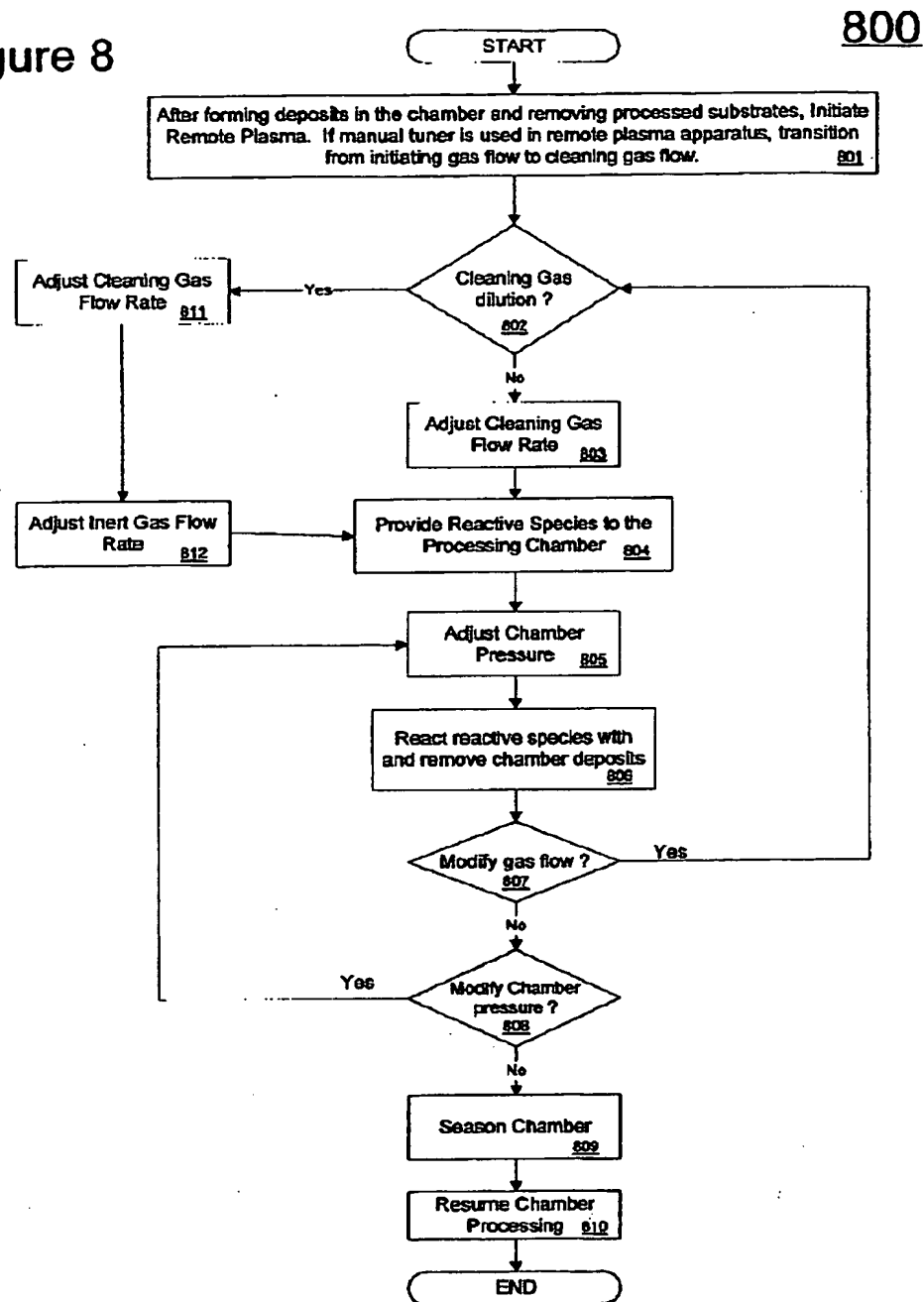


Figure 7

Figure 8



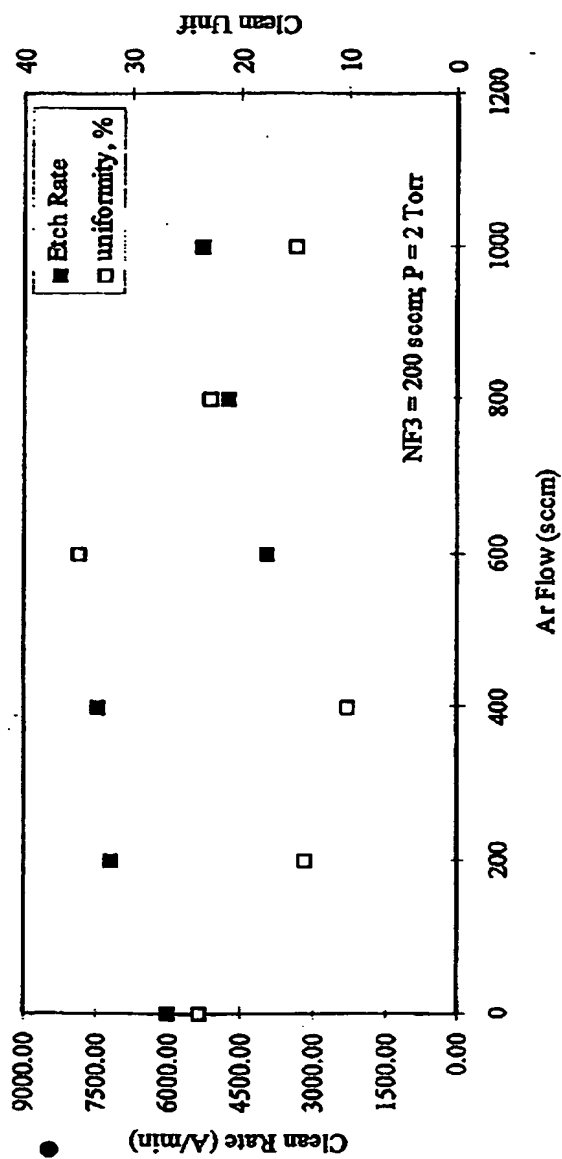


FIGURE 9

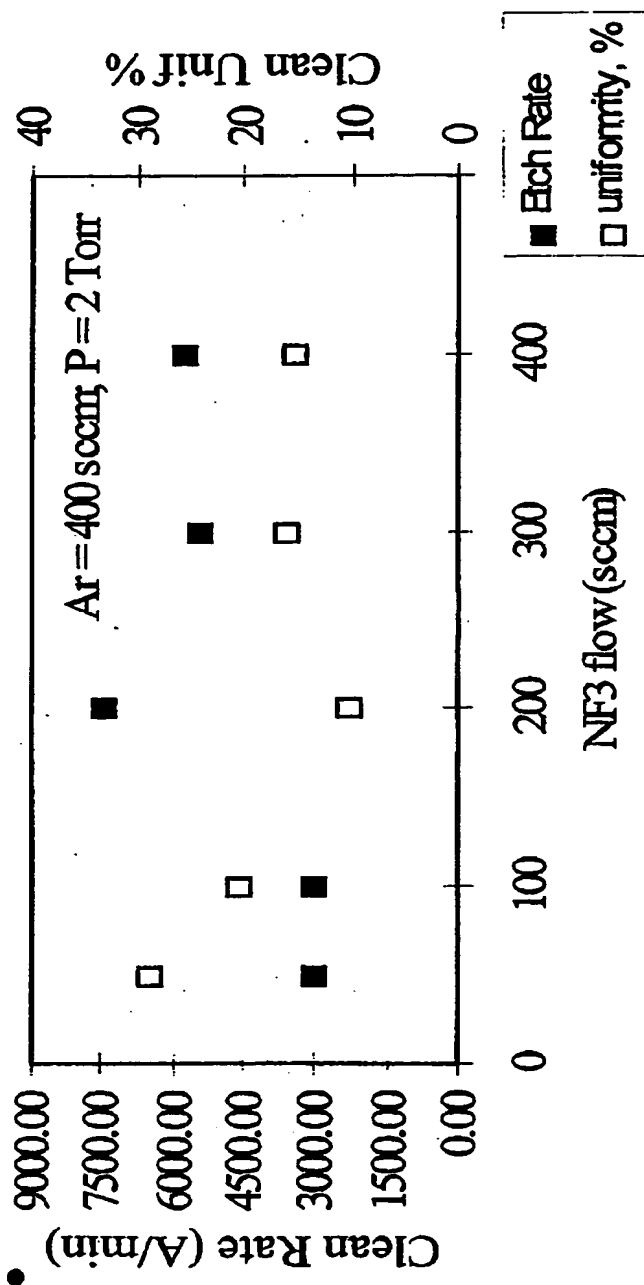


FIGURE 10

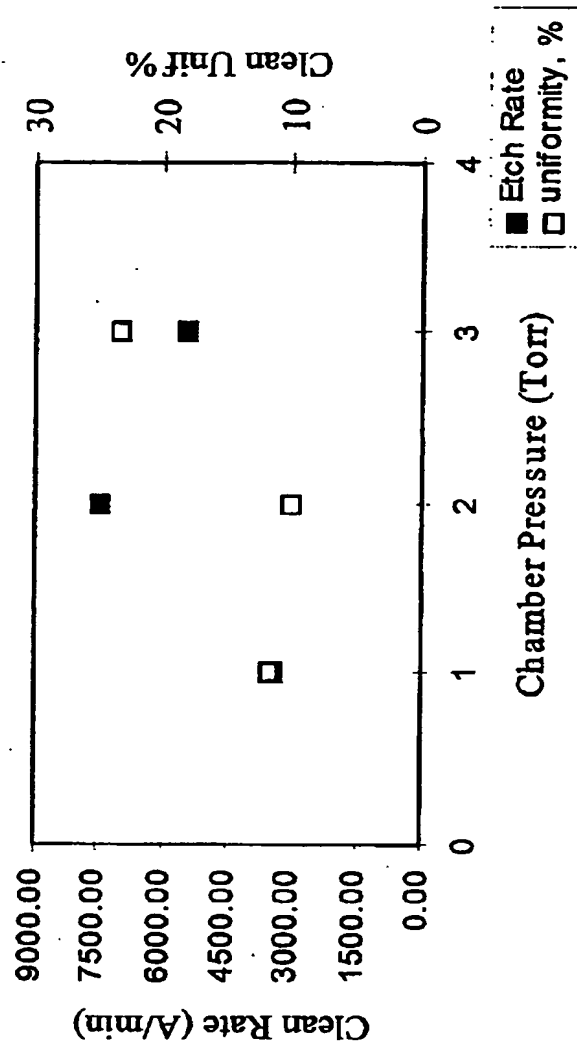
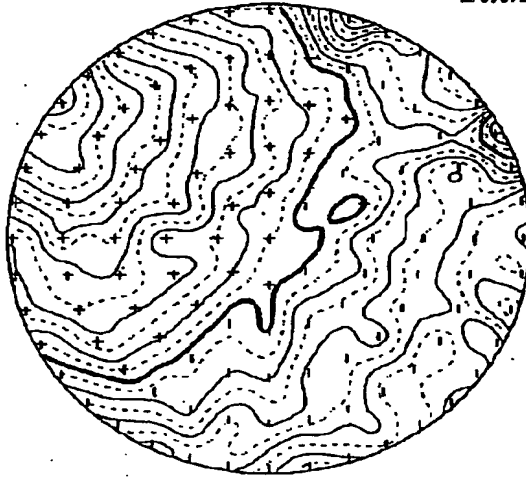


FIGURE 11

Clean Rate and Uniformity with Ar:NF3 = 1:2

NANOMETRICS 2D MAP



MEAN: 5974A
 ST Dev: 258.4A
 St Dev%: 4.34Z
 UNIF: 9.42Z
 MAX: 6846A
 MIN: 5520A
 RANGE: 1126A
 INTERVAL: 48.0A

Cin rate = 2000 A/min
 Ar:NF3 = 2:1
 NF3 = 1500 sccm
 P = 4500 W

1 Abstract

With Ar:NF3 = 1:2 (750/1500sccm) a clean rate of 2000A/min Unif=4.5% was obtained

FIGURE 12

A processing chamber cleaning method is described which utilizes microwave energy to remotely generate a reactive species to be used alone or in combination with an inert gas to remove deposits from a processing chamber. The reactive species can remove deposits from a first processing region at a first pressure and then remove deposits from a second processing region at a second pressure. Also described is a cleaning process utilizing remotely generated reactive species in a single processing region at two different pressures. Additionally, different ratios of reactive gas and inert gas may be utilized to improve the uniformity of the cleaning process, increase the cleaning rate, reduce recombination of reactive species and increase the residence time of reactive species provided to the processing chamber.

2 Representative Drawing Fig. 1

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.